

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA AMBIENTAL**

TEMA:

**ANÁLISIS DE ISLAS DE CALOR URBANO Y SUS VARIABLES EN EL SUR DE
QUITO MEDIANTE TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA DESDE VEHÍCULOS AÉREOS
NO TRIPULADOS**

AUTORA:

VALERIA LISSETH LOZADA TOSCANO

DOCENTE TUTOR:

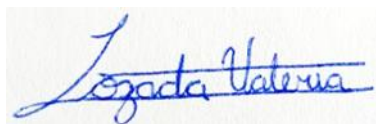
EDWIN RODRIGO ARIAS ALTAMIRANO

Quito, agosto del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Valeria Lisseth Lozada Toscano con documento de identificación N.º 1727498899, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: **ANÁLISIS DE ISLAS DE CALOR URBANO Y SUS VARIABLES EN EL SUR DE QUITO MEDIANTE TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA DESDE VEHÍCULOS AEREOS NO TRIPULADOS**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERA AMBIENTAL en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Valeria Lisseth Lozada Toscano

1727498899

Agosto, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **ANÁLISIS DE ISLAS DE CALOR URBANO Y SUS VARIABLES EN EL SUR DE QUITO MEDIANTE TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA DESDE VEHICULOS AEREOS NO TRIPULADOS**, realizado por Valeria Lisseth Lozada Toscano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2020



Edwin Rodrigo Arias Altamirano.

CI: 1710165869

DEDICATORIA

A mi madre que me levantó de cada caída y de cada caída se levantó por mí.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Norma y Raúl por acompañarme en cada paso que doy con amor, dedicación y apoyo incondicional. A mis hermanos Oscar y Andrés por estar presentes en cada éxito y fracaso ayudándome a seguir. A mi tía Elizabeth por cada enseñanza, por cada palabra de aliento con la cual me ha ayudado a continuar adelante.

A la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme su acogida y todos los medios necesarios para lograr culminar esta etapa.

Al Ing. Edwin Arias por hacer posible la realización de este proyecto, brindarme su apoyo y conocimiento con tiempo y paciencia.

A mis amigos Erika, Jennifer, Daniel, Jareth, Henry y Jonathan por acompañar durante el trayecto de la carrera apoyándome con su amistad y cariño.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo General.....	6
2.2. Objetivos Específicos:	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. Islas de Calor Urbano	7
3.2. Formación de las Islas de Calor.....	8
3.3. Tipos de Islas de Calor	9
3.4. Efectos de las islas de calor urbano	10
3.5. Temperatura Superficial de la Tierra.....	11
3.6. Teledetección.....	11
3.7. Espectro Electromagnético	13
3.8. Superficies reflectantes.....	13
3.9. Captura de información a distancia	14
3.9.1. Sensores remotos.....	14
3.9.2. Pixel.....	15
3.9.3. Creación de pirámides.....	15
3.10. La misión Landsat.....	16

3.10.1.	Landsat 8.....	17
3.10.1.1.	Bandas Espectrales.....	17
3.11.	Sistema de Variables.....	19
3.11.1.	Índices de diferencia normalizada	20
3.11.1.1.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI.....	20
3.11.1.2.	Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones NDBI	21
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
4.1.	Fase preliminar	23
4.1.1.	Estaciones meteorológicas	23
4.1.2.	Área de estudio.....	23
4.1.3.	Selección y obtención de imágenes satelitales Landsat 8	27
4.2.	Fase de procesamiento.....	28
4.2.1.	Cálculo del TOA	28
4.2.2.	Conversión de TOA a Brightness Temperature (Temperatura de brillo).....	30
4.2.3.	Cálculo de índices de vegetación normalizado NDVI	31
4.2.4.	Cálculo de índices de Construcción de Diferencia Normalizado.....	31
4.2.5.	Cálculo de la proporción de vegetación Pv	32
4.2.6.	Cálculo de la Emisividad E	33
4.2.7.	Cálculo de la temperatura superficial.....	33

4.2.8. Coeficiente de Correlación.....	35
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1. Resultados.....	38
5.1.1. Cálculo de la temperatura superficial terrestre.....	38
5.1.2. Temperatura superficial terrestre en las estaciones meteorológicas	38
5.1.3. Cálculo del NDVI.....	40
5.1.4. Análisis de los valores obtenidos de LST	41
5.1.5. Caracterización de Islas de Calor de cada año	44
5.1.5.1. 2013 LST.....	44
5.1.5.2. 2014 LST.....	45
5.1.5.3. 2015 LST.....	45
5.1.5.4. 2016 LST.....	45
5.1.5.5. 2017 LST.....	45
5.1.5.6. 2018 LST.....	46
5.1.5.7. 2019 LST.....	46
5.1.6. Análisis de los valores obtenidos de NDVI	46
5.1.7. Caracterización de NDVI por año	50
5.1.7.1. 2013 NDVI.....	50
5.1.7.2. 2014 NDVI.....	50

5.1.7.3.	2015 NDVI.....	50
5.1.7.4.	2016 NDVI.....	51
5.1.7.5.	2017 NDVI.....	51
5.1.7.6.	2018 NDVI.....	51
5.1.7.7.	2019 NDVI.....	51
5.1.8.	Caracterización del Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones	52
5.2.	Discusión	54
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
6.1.	Conclusiones.....	56
6.2.	Recomendaciones	57
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	58
8.	ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas espectrales de Landsat 8.....	18
Tabla 2. Bandas espectrales TIRS	18
Tabla 3. Estaciones Meteorológicas Secretaría de Ambiente Quito.....	23
Tabla 4. Tipos de climas en el Distrito Metropolitano de Quito	24
Tabla 5. Parroquias Urbanas y Rurales del Distrito Metropolitano de Quito.....	25
Tabla 6. Fechas de las imágenes satelitales seleccionadas	27
Tabla 7. Interpretación de correlación	36
Tabla 8. Correlación entre estaciones meteorológicas e imágenes satelitales	36
Tabla 9. Datos de la temperatura según estaciones meteorológicas y días de las imágenes satelitales.....	38
Tabla 10. Valores obtenidos en Excel para el Histograma del mayor LST.....	41
Tabla 11. Valores obtenidos en Excel para el Histograma del menor valor LST.....	43
Tabla 12. Valores obtenidos en Excel para el Histograma del mayor valor NDVI.....	47
Tabla 13. Valores obtenidos en Excel para el Histograma del menor valor NDVI.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen Satelital de Quito	4
Figura 2. Perfil Islas de Calor Urbano	7
Figura 3. Tipos de islas de calor en el entorno urbano.	9
Figura 4. Proceso de teledetección, para la obtención de imágenes satelitales.	12
Figura 5. Reflectancia según la longitud de onda de diferentes cubiertas.	14
Figura 6. Longitud de onda de las bandas OLI y TIRS.	19
Figura 7. Pasos para la investigación	22
Figura 8. Mapa de las parroquias rurales y urbanas del DMQ.	26
Figura 9. Imagen satelital descargada de earth explorer sin procesamiento.	28
Figura 10. Datos MTL de la descarga de imágenes satelitales.	29
Figura 11. Datos MTL de la descarga de imágenes satelitales.	30
Figura 12. Procesamiento de la imagen satelital para el cálculo del NDVI.	32
Figura 13. Mapa térmico del DMQ.....	34
Figura 14. Histograma del mayor valor de LST	42
Figura 15. Mapa del mayor valor de LST	42
Figura 16. Histograma del menor valor de LST	43
Figura 17. Mapa del menor valor de LST	44
Figura 18. Histograma del mayor valor de NDVI.	47
Figura 19. Mapa del mayor valor de NDVI.....	48

Figura 20. Histograma del menor valor de NDVI.	49
Figura 21. Mapa del menor valor de NDVI.....	49
Figura 22. Mapa del 2013 del NDBI	52
Figura 23. Mapa del 2019 del NDBI	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales por día y por estación meteorológicas.	63
Anexo 2. Análisis estadístico	70
Anexo 3. Cartografía resultante	79

RESUMEN

El presente estudio se realizó en Distrito Metropolitano de Quito, en el cual mediante imágenes multiespectrales Landsat 8 se obtuvieron índices de vegetación (NDVI), construcciones (NDBI) y la temperatura superficial terrestre (LST), para establecer una relación entre estas y así conseguir datos acerca de la generación y existencia de las islas de calor urbano, además de conocer la problemática que estas generan. Obteniendo resultados que indican una relación directa entre el aumento de la temperatura y el NDBI y por el contrario una relación inversa con el NDVI. Mientras que se observó que no existe una correlación entre la temperatura que se obtuvo de las estaciones meteorológicas con la obtenida de las imágenes satelitales. En general mediante mapas de calor se logra observar en todo el DMQ la distribución de los índices y de la temperatura superficial y como esta ha ido en aumento. La investigación no se realizó con imágenes obtenidas con drones debido a que por fallas mecánicas en el tiempo de investigación no se realizaron vuelos con el dron designado, sin embargo, el trabajo con imágenes satelitales nos permite obtener resultados similares.

Palabras clave: Islas de Calor Urbano, imágenes satelitales, vegetación, temperatura, construcciones.

ABSTRACT

The present study was carried out in the Metropolitan District of Quito, in which Landsat 8 multispectral images obtained vegetation indices (NDVI), constructions (NDBI) and the earth's surface temperature (LST), to establish a relationship between them and thus achieve data about the generation and existence of urban heat islands, in addition to knowing the problems they generate. Obtaining results that indicate a direct relationship between the increase in temperature and the NDBI and on the contrary an inverse relationship with the NDVI. While it was observed that there is no correlation between the temperature obtained from the meteorological stations with that obtained from the satellite images. In general, heat maps show the distribution of the indices and surface temperature throughout the DMQ and how it has been increasing. The research was not carried out with images obtained with drones because mechanical failures in the time of investigation did not make flights with the designated drone, however working with satellite images allows us to obtain similar results.

Keywords: Urban Heat Islands, satellite images, vegetation, temperature, buildings.

1. INTRODUCCIÓN

El incesante incremento de las ciudades, de la población y el consumo son factores que por décadas han venido afectando la calidad ambiental, más aún en los centros urbanos ya que estos cada vez aumentan su número poblacional y áreas con construcciones tanto para el sector privado como para el sector gubernamental, este incremento continuo ocasiona que cada vez se reduzcan los espacios de permeabilidad y zonas verdes, perturbando así el ambiente en estas zonas.

La calidad ambiente en los centros urbanos más poblados se ha visto afectada por diversos problemas entre los cuales el más evidente son las Islas de Calor Urbano (ICU), estas “son consideradas como indicadores de degradación ambiental tanto a escala local como global, en la medida que participan en la producción de condiciones adversas para la salud de la población y los ecosistemas, como en los procesos de Calentamiento Global” (Romero & Salgado , 2010).

Las islas de calor urbano van incrementando a nivel mundial, generando pérdidas en estilo de vida de las poblaciones, “creando aumento en la frecuencia de uso de aires acondicionados, de refrigeradores y del consumo de agua y de insumos para higiene personal, los cuales ocasionan una elevación en los costos de adquisición y a su vez una mayor liberación de gases de efecto invernadero” (García, 2018). Entre las causas más notables por las cuales se forman las ICU son factores en su mayoría antropogénicos como la disposición urbana, la liberación de calor y la contaminación atmosférica.

La tecnología con el paso de los años ha permitido que se incremente el conocimiento y la exploración de soluciones para los problemas generados debido al “avance” de la sociedad, con

el lanzamiento del satélite LANDSAT en la década de 1960 se creó un gran progreso para la operación de las imágenes satelitales y datos espaciales, este satélite lanzado por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA), permite mediante teledetección obtener datos para el manejo y conocimiento del estado de los recursos naturales a nivel mundial; en este estudio se utilizan datos obtenidos mediante este satélite, si bien se puede manejar los datos mediante otras tecnologías, es factible realizar estudios mediante imágenes satelitales ya que permite obtener información a través de varios años y a su vez utilizar información actual.

En Ecuador son pocos los estudios realizados acerca de las islas de calor urbano y este es un problema que se va acrecentando con la misma velocidad con la cual crece la población y la densidad heterogénea de las construcciones, por lo cual el presente estudio demuestra como las islas de calor urbano se manifiestan en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), esto mediante técnicas de teledetección y datos de comparación obtenidos en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) el cual es la entidad nacional encargada del clima, el tiempo y los recursos hídricos, además de datos de la Secretaría de Ambiente Quito.

Para el planteamiento del problema se observa que el incremento de las ciudades se da de tal manera que supone una reducción de áreas verdes causando así varios problemas ambientales de los cuales los mayores a notar son los cambios en el microclima de las zonas con mayor aglomeración de edificaciones, calles, calzadas, entre otras (zonas urbanas), los cambios a notar son la disminución de la humedad del aire y velocidad del viento y el incremento de la temperatura, lo cual genera las “Islas de Calor”, esta problemática se une de manera notable al cambio climático y afecta directa y diariamente a los habitantes de las zonas urbanas, además causa problemas aledaños como son el incremento de los incendios forestales debido al

intercambio de calor que existe entre zonas urbanas y rurales; cabe mencionar que el incremento del parque automotor en igual aumento que la población suma a la problemática de las ICU debido a los gases emitidos.

Al existir una sobrepoblación en los centros urbanos se puede observar como la calidad del ambiente va disminuyendo de manera progresiva, sin embargo no se tiene de manera consecutiva para ningún centro urbano como se va modificando el ambiente por problemas notorios como las islas de calor, en Ecuador los datos meteorológicos manejados por el INAMHI no presentan registro alguno de las afecciones por las ICU, sin embargo los datos recopilados por esta institución sirven de manera amplia para una comparación con los datos que se obtienen mediante teledetección.

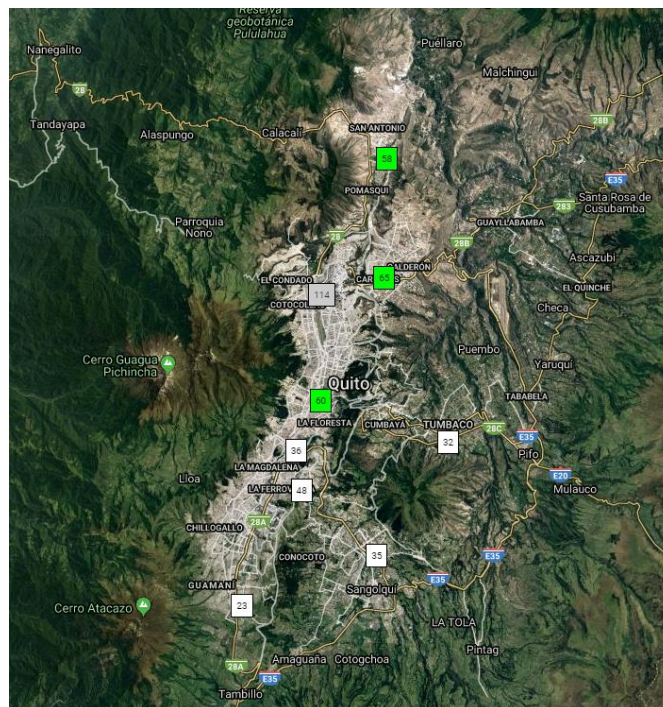
Mediante el presente estudio se obtienen datos reales de como en periodo 2013-2019 en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en sus sectores se encuentra diferencias térmicas, resaltando el sur de esta ciudad en comparación con los valles de la misma, esto debido a su densidad heterogénea en la construcción, recalcando que en todo el DMQ la configuración urbana es aleatoria, entre el sector público y privado, con lo mencionado, se realizarán mapas de calor, para conocer en distintos tiempos las diferencias térmicas existentes.

El presente estudio se realizará en el Distrito Metropolitano de Quito que es la capital de la República del Ecuador y de la provincia de Pichincha. Los límites del DMQ son “Norte: Provincia de Imbabura, Sur: cantones Rumiñahui y Mejía, Este: cantones Pedro Moncayo, Cayambe y Provincia de Napo, Oeste: cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas” (Gobierno Provincial de Pichincha , 2002), con un área de 4 235,2 km² y una población de 2.239.191 esto según el Instituto Nacional de

Estadísticas y Censos (INEC, 2019). El territorio presenta un “contexto geográfico irregular, heterogéneo, con diversidad de recursos naturales, variedad de pisos climáticos y ecosistemas. Geográficamente se distinguen tres zonas: la seca interandina, interandina y lluviosa interandina” (Baño , 2017). La configuración espacial que existe en el DMQ es aleatoria teniendo de manera dispersa los diferentes sectores públicos y privados, además de diferentes características físicas y climatológicas. Para el estudio se utilizarán 7 estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de esta zona.

Figura 1.

Imagen Satelital de Quito



Nota. En esta imagen se muestran las Estaciones Meteorológicas del DMQ. Tomado de: (Secretaría de Ambiente Quito, 2020).

En la figura 1 se puede observar una imagen satelital del DMQ en la cual se puede ver como existe una gran densidad de construcciones en su centro, siendo la zona con mayor densidad

poblacional construida; a esta zona se la denomina “mancha urbana”, no obstante dentro de esta existen distintos tipos de uso de suelos, “observándose en los sectores norte, sur y valles, predominio de uso residencial con presencia limitada de zonas industriales y de equipamiento; mientras que, hacia el centro se presenta una mayor concentración de uso de suelo (múltiple) para residencia, comercio y equipamiento” (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda , 2012).

El presente estudio se realiza con la motivación de que gran proporción de la humanidad vive en zonas urbanas y estas se extienden de manera acelerada, las zonas rurales cada vez más se van asimilando a las zonas urbanas, esto incrementa un problema mundial, tanto a grande como pequeña escala, desde hace varios años atrás la Organización de Naciones Unidas (ONU) mediante Hábitat, viene tratando el problema de la configuración espacial de las ciudades, en 2016 se organizó en la Ciudad de Quito Hábitat III que “ofrece una oportunidad única para discutir el importante reto de cómo se planifican y gestionan las ciudades con el fin de cumplir con su función de vectores de desarrollo sostenible, y por lo tanto dar forma a la implementación de nuevos objetivos de desarrollo y el cambio climático global” (Naciones Unidas , 2016). En este se reconocen problemas climáticos causados por la tendencia de crecimiento que se da en los grandes centros urbanos como es el Distrito Metropolitano de Quito.

Mediante técnicas de teledetección y manejo de programas de información geográfica se logra obtener información verídica de los distintos niveles térmicos que se tiene en los diferentes sectores, enfocándonos en el sector sur debido a la estructura física que se tiene en este lugar, es de gran importancia tener la información acerca de la cartografía y configuración urbana y rural del área de estudio debido a que las islas de calor generan problemas ambientales a diferentes escalas, además que repercuten en la salud y al confort de los habitantes tanto de la zona urbana como rural.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar las islas de calor urbano y sus variables en el sur de Quito, mediante técnicas de termografía, para la determinación de las afecciones que estas aportan a la contaminación ambiental en el entorno urbano.

2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar las variables que afectan al incremento de las islas de calor urbano.
- Conocer el gradiente de temperatura en diferentes días en el periodo 2013-2019, para la identificación de factores que favorecen a las islas de calor a partir de termografía.
- Comparar los materiales de construcción existentes en la zona delimitada, para la identificación de las zonas verdes que ayudan a la reducción de las islas de calor

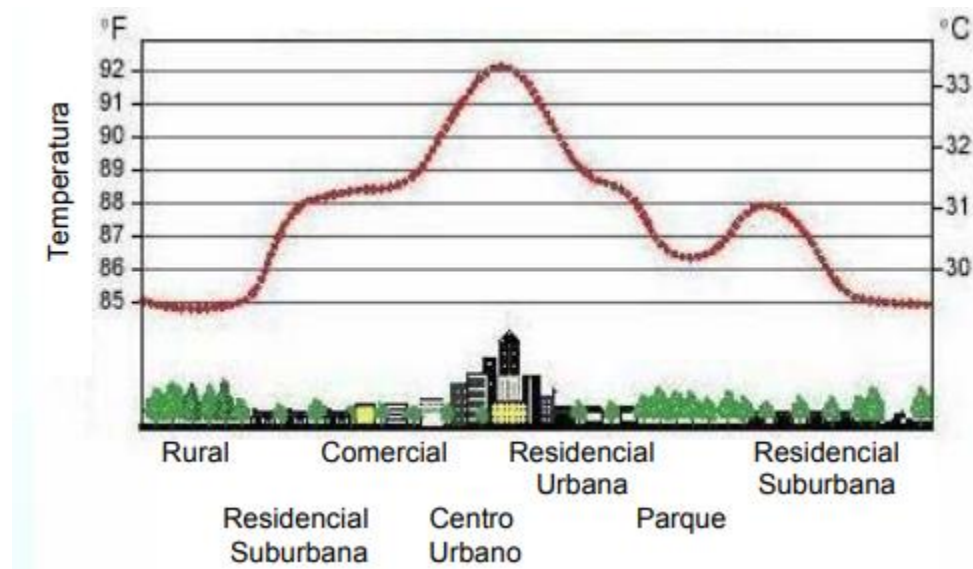
3. MARCO TEÓRICO

3.1. Islas de Calor Urbano

Las Islas de Calor Urbano ICU son un impacto ambiental generado por la diferencia climática existente en zonas de gran acumulación urbana con sus zonas periféricas, esto debido a que en las zonas urbanas existen pocos o nulos lugares con permeabilidad o áreas verdes.

Figura 2.

Perfil Islas de Calor Urbano



Nota. En la imagen se muestra la temperatura en grados Celsius y grados Fahrenheit en las diferentes zonas urbanas y rurales. Tomado de: (EPA , 2016)

La figura 2 muestra un perfil típico de las islas de calor urbano, se observa como en las zonas aledañas o rurales la temperatura es más baja en comparación del centro urbano, esto debido a la densidad poblacional, cantidad de áreas de permeabilidad y/o zonas verdes que existen en estas zonas.

Las islas de calor van en incremento, con la asimilación de las zonas rurales a los centros urbanos, ya que las islas de calor se presentan de manera rápida, con la construcción de un edificio o disminución de áreas de permeabilidad con la construcción de carreteras.

3.2. Formación de las Islas de Calor

La problemática que se tiene en torno a las islas de calor se basa en una mayor generación de CO₂, cambios de temperatura (debido a que por las edificaciones se disminuyen los vientos), problemas de salud asociados al calor y mayor consumo eléctrico, estos entre los principales problemas producidos a nivel de centros urbanos, de manera más amplia esta problemática se suma de manera notoria al calentamiento global. Los materiales con los cuales están contruidos los edificios, casas y el asfalto producen la absorción de la radiación solar en el día y se van desprendiendo poco a poco del calor, aumentando la temperatura (sobre todo en las noches) y las precipitaciones, estas precipitaciones se dan debido a la generación de intercambio de calor con las zonas rurales aledañas a esto centros urbanos.

Según (Baño , 2017), las causas de la formación de las islas de calor son varias y esto debido a modificaciones atmosféricas y superficiales. Siendo las causas:

- Clima, topografía y envolvente rural (localización geográfica)
- Estación climática.
- Dificultad del flujo de aire, viento, nubosidad
- Configuración de la ciudad (áreas verdes, materiales de construcción, tamaño y áreas de permeabilidad)
- Bajo nivel de evapotranspiración.
- Alta absorción de la radiación solar debido al débil albedo.

- Calor antropogénico.

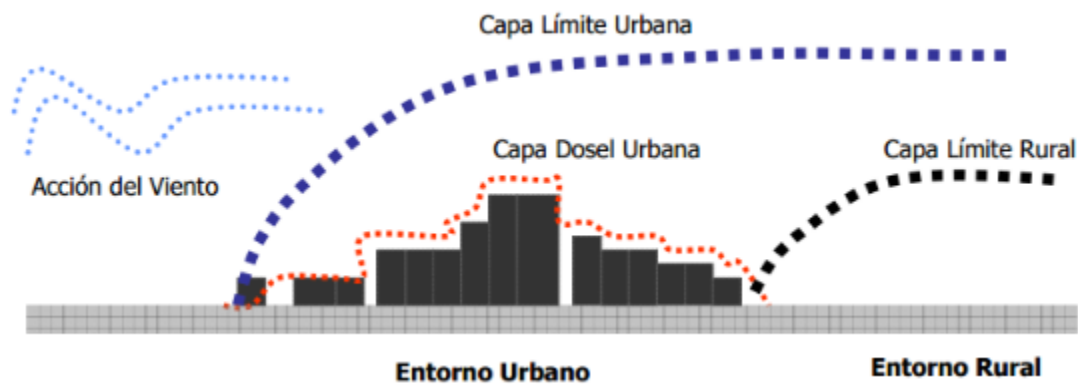
3.3. Tipos de Islas de Calor

Las islas de calor según la altura de esta se clasifican según Oke (1994) en tres:

- Isla de calor de la capa de dosel
- Isla de calor de la capa límite
- Isla de calor de superficie

Figura 3.

Tipos de islas de calor en el entorno urbano.



Nota. En la imagen se muestra los distintos tipos de islas de calor que se encuentran en el entorno urbano. Tomado de: Eixo, Atlántico (2008) en (Trujillo, 2012)

La Capa dosel urbana hace referencia al calentamiento atmosférico que se da desde la superficie hasta la altura aproximada de 1.5 km de las edificaciones existentes. En esta capa se encuentra el aire atrapado entre las estructuras de la zona urbana

La capa limite rural de igual manera que la anterior hace referencia al calentamiento atmosférico, pero esta se ubica sobre la capa anterior que influye sobre esta capa

La capa limite urbana de calor superficial es la capa más alta ubicada sobre las dos anteriores, esta se presenta durante todo el día y la noche.

3.4. Efectos de las islas de calor urbano

Las islas de calor urbano, generan varios impactos al medio ambiente y en si a la población situada en estos lugares, esto debido a la estructuración de las ciudades, los más grandes problemas se visualizan o ejercen mayor impacto en las épocas de verano, se definen los siguientes:

- Debido a la impermeabilidad que existe en los centros urbanos aglomerados, se genera un desbalance hídrico, afectando directamente la temperatura (EPA , 2016).
- El consumo energético se eleva, debido a que en las grandes edificaciones en determinadas horas del día se requiere aire acondicionado, refrigeración, debido a que la intensa radiación que recae en los mismos los calienta, además del calor desprendido por las personas que se encuentran ahí (EPA , 2016).
- El balance radiativo se ve alterado porque las construcciones absorben la radiación solar en el día y se van desprendiendo poco a poco del calor, aumentando la temperatura y modificando las precipitaciones (Baño , 2017).
- La calidad del aire disminuye debido a que, por la necesidad de mayor energía, el consumo de combustibles fósiles para el parque automotriz y para el uso de energía eléctrica, acrecienta los gases de efecto invernadero y las emisiones de contaminantes atmosféricos, esto genera presencia de ozono a nivel del suelo y lluvia ácida.

- A consecuencia de la disminución de la calidad del aire existe afección a la biodiversidad en el área de estudio, “perjudican al metabolismo y reproducción tanto de la vida acuática como para el desarrollo y conservación de especies vegetales.” (Baño , 2017)
- Debido a los cambios meteorológicos y a las temporadas de verano donde existen altas presiones y cielos claros se origina “un aumento del calor superficial, que incrementa el nivel de estrés hídrico de la vegetación, la deshidratación del suelo y la sequedad del aire.” (Córdova , 2010)
- La salud y el confort de la población se ven afectadas, debido a los cambios meteorológicos radicales, causando enfermedades respiratorias y funcionales.

3.5. Temperatura Superficial de la Tierra

La temperatura superficial de la tierra es considerada como la temperatura radiante de esta, incluyendo todas las características de la zona en la cual se mide. En la página web Copernicus Europe’s on Earth (2017) se afirma que “su estimación se logra a partir de las temperaturas de brillo de la parte superior de la atmosfera, que corresponde a los canales espectrales infrarrojos de un satélite geoestacionario. Los resultados de su estimación dependerán del albedo, de la cobertura vegetal y de la humedad del suelo”.

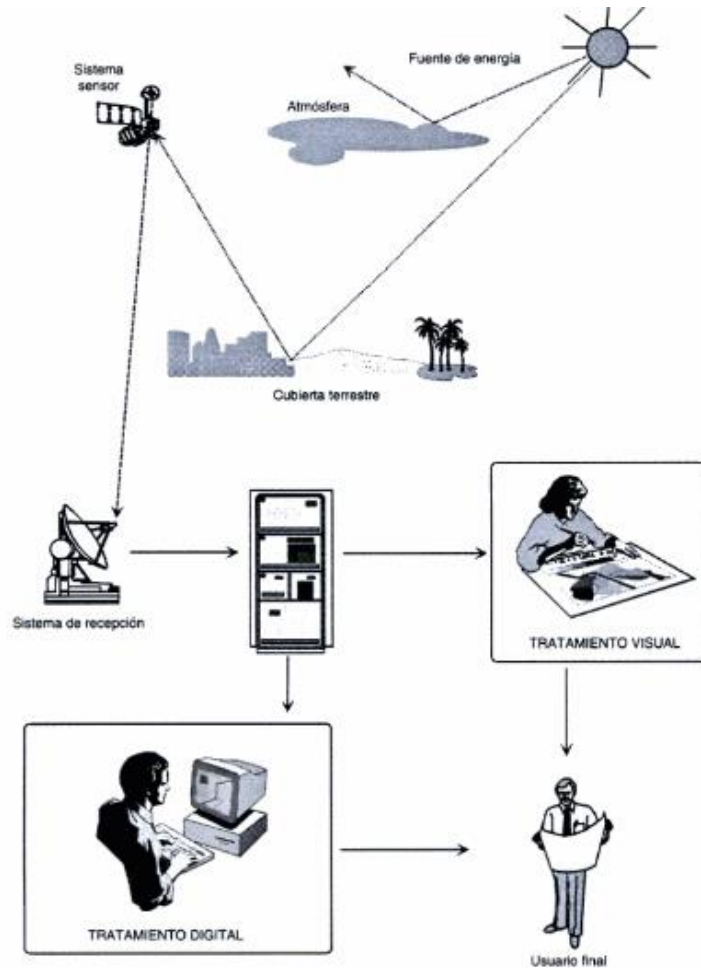
3.6. Teledetección

La teledetección es un proceso que se da mediante el análisis de la energía irradiada por los objetos, esto se basa en el espectro electromagnético en el cual se encuentran representadas todas las ondas de radiación; estas ondas están clasificadas de menor a mayor amplitud, cada objeto irradia o absorbe diferentes longitudes de onda.

Esta técnica permite obtener información acerca del clima, de la superficie terrestre, entre otras, esto a grandes distancias mediante sensores ubicados en satélites o estaciones espaciales, la información que se obtiene mediante los sensores es procesada posterior a su obtención.

Figura 4.

Proceso de teledetección, para la obtención de imágenes satelitales.



Nota. La figura muestra los elementos necesarios para la obtención de las imágenes satelitales. Tomado de:

(Chuvieco , 2008).

En la figura 4 se observan los componentes que se requieren en la teledetección, teniendo así: una fuente de energía que puede ser artificial o el sol que es la fuente más importante; la superficie terrestre la cual está formada de diferentes tipos de suelo, agua, vegetación y

construcciones realizadas por el hombre; el sistema sensor; de recepción; la interpretación y el usuario final.

3.7. Espectro Electromagnético

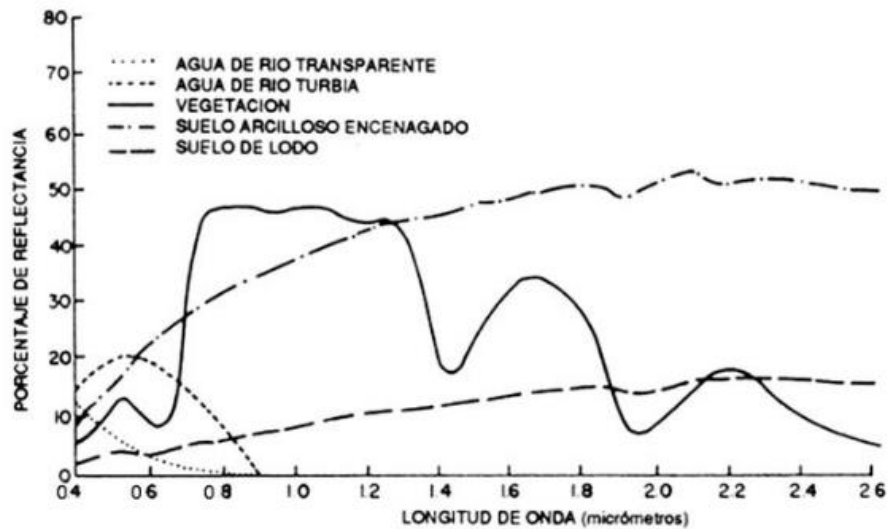
Todos los objetos irradian energía en distintas frecuencias, siendo así que el espectro electromagnético abarca longitudes de onda desde los rayos gamma y rayos x que son ondas de longitudes cortas, y las más largas que son las microondas y radio que son utilizadas para las telecomunicaciones. A partir del espectro electromagnético se hace posible la interacción entre la energía y los diferentes objetos logrando atravesar grandes distancias para ser captadas por sensores remotos los cuales transforman en valores numéricos “niveles digitales”, ocasionando la teledetección.

3.8. Superficies reflectantes

Las superficies reflectantes hacen referencia a la capacidad de los diferentes tipos de cubiertas de reflejar lo visible, lo infrarrojo y lo ultravioleta y alta emitancia térmica. La superficie terrestre está compuesta de tres tipos distintos de cubiertas las cuales son: agua, suelo y vegetación, el comportamiento espectral de cada una de estas cubiertas es distinta en función de factores físicos como la temperatura, humedad o textura; químicos en cuanto a composición, y ambientales en cuanto a la pendiente, orientación del terreno según la hora de toma. (Baño , 2017)

Figura 5.

Reflectancia según la longitud de onda de diferentes cubiertas.



Nota. En la figura se muestran distintas curvas espectrales características de diferentes elementos terrestres: agua, vegetación y suelo. Tomado de: (Chuvieco , 2008).

3.9. Captura de información a distancia

Para la teledetección se requieren 3 elementos fundamentales que son sensor, objeto y flujo de energía asimismo para la obtención de información a distancia se necesita de: radiación electromagnética, ciertas leyes físicas también de la interacción de varios procesos como: dispersión, absorción, reflexión, esto para así poder obtener imágenes e información numérica de lo que se requiere. (Rodriguez & Arredondo , 2005)

3.9.1. Sensores remotos

Estos son sistemas o instrumentos utilizados para conseguir información de un objeto a distancia, estos sensores cuentan con la habilidad para registrar mediante distintas resoluciones al momento de obtener la información, este concepto resulta un poco similar al de una cámara fotográfica.

Según Rodríguez & Arredondo (2005) el concepto de resolución implica 4 manifestaciones las cuales son: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

- Resolución espacial: Campo instantáneo visual, teniendo en cuenta al cuerpo más pequeño que se puede diferenciar en la imagen. En otras palabras, este se refiere al detalle visible en una imagen. Si el área es menor mayores serán los detalles. Con lo antes mencionado podemos recalcar que para la resolución que se obtiene mediante los sensores remotos depende de una unidad conocida como pixel.
- Resolución temporal: Hace referencia a los intervalos de tiempo o el tiempo específico en el cual el sensor proporciona información acerca de un punto.
- Resolución radiométrica: En esta se representa el número de niveles digitales de la imagen. En esta cada pixel viene determinado como un número entero y este se llama nivel digital.

3.9.2. *Pixel*

Como se había mencionado antes la resolución que se obtiene en las imágenes depende de los pixeles que se tienen en estas. Siendo así que los pixeles son la unidad más pequeña o mínima de color homogéneo que forma parte de una imagen. Cada píxel constituye una posición en la rejilla rectangular que da lugar a la imagen final. En cada píxel se almacena, en formato binario (bit), el color que contiene. El número de bits que tiene cada píxel se llama profundidad de color. (Pulpeiro, 2003)

3.9.3. *Creación de pirámides*

La creación de estas es un facilitador para la visualización de las imágenes con un número elevado de pixeles. “Las pirámides son útiles porque mejoran la velocidad de dibujo para los

datasets ráster que se muestran a menos de su resolución completa. Se le recomienda crear siempre pirámides para datasets ráster grandes”. (ArcMap, 2016)

La generación de pirámides permite tener una copia de menor resolución de los datos, para así poder visualizar completo. “A medida que se acerca, se dibujan los niveles con mejor resolución, y el rendimiento se mantiene debido a que está dibujando sucesivamente áreas más pequeñas”. (ArcMap, 2016)

Las pirámides creadas en el programa ArcGIS se archivan o almacenan junto a las imágenes de origen, teniendo que se puede crear en dos diferentes maneras una vista general (.ovr) y un dataset de resolución reducida (.rrd).

Para la resolución reducida (.rrd) el documento que se crea tendrá los niveles con la menor resolución de la imagen con todas sus bandas, si las tuviese, según (Moreno , 2008) el documento sin ser comprimido ocuparía aproximadamente un 8% de la imagen original.

3.10. La misión Landsat

La misión landsat, creada de manera visionaria para lograr la observación espacial de la tierra mediante satélites, fue creada por National Aeronautics and Space Administration (NASA), la cual mediante varias misiones ha creado junto con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) una manera de investigar el planeta tierra mediante la recopilación de una serie de datos que data desde 1972. Esta misión es creada con el propósito de conocer áreas poco cartografiadas y para monitorear la calidad y el cambio ambiental, además de conocer y buscar soluciones a las diferentes adversidades ambientales; según la página oficial de la NASA, las imágenes de Landsat se han utilizado para mapear fallas geológicas y zonas de fractura, así como la actividad

tectónica global. “Landsat ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada” (Ariza, 2013).

3.10.1. *Landsat 8*

A partir del lanzamiento de varios satélites a órbita la NASA continúa con la recopilación de datos mediante el lanzamiento de su proyecto “Landsat Data Continuity Mission” la cual es la octava versión lanzada al espacio, siendo así que esta se llamaría y manejaría en sus plataformas como Landsat 8, continuando y mejorando la recolección de datos satelitales de la superficie de la tierra. “Este programa amplía, mejora y avanza en el registro de imágenes multiespectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores” (Ariza, 2013).

El satélite Landsat 8 cuenta con dos grandes segmentos:

- El observatorio está compuesto de dos sensores los cuales en conjunto proporcionarán los datos para obtener las imágenes de todas las regiones existentes en la superficie terrestre, los datos obtenidos están dados en las mismas coordenadas que sus misiones antecesoras, continuando así con la recopilación de datos sin ningún inconveniente. Los dos sensores Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS) son los cuales en conjunto permiten obtener la información necesaria sobre la tierra mejorando la calidad de las imágenes. (Earth Observatory, 2019)
- Sistema terrestre el cual es la planificación y programación de los datos.

3.10.1.1. Bandas Espectrales.

Como se había mencionado antes Landsat 8 tiene dos sensores:

- OLI: Formado por 9 bandas, van desde lo visible pasando por los infrarrojos hasta el espectro de radiación de bajas ondas. (Ariza, 2013)

Tabla 1.

Bandas espectrales de Landsat 8

N° Banda	Descripción	Ancho de banda (nm)	Centro tolerancia (\pm nm)	Mínimo inferior (nm)	Máximo superior (nm)
1	Aerosol	443	2	433	453
2	Azul	482	5	450	515
3	Verde	562	5	525	600
4	Rojo	655	5	63	680
5	NIR	865	5	845	885
6	SWIR1	1610	10	1560	1660
7	SWIR2	2200	10	2100	2300
8	Pan	590	10	500	680
9	Cirrus	1375	5	1360	1390

Nota. Características de las bandas espectrales Landsat 8. Tomado de: (Ariza, 2013)

- TIRS: Formado por 2 bandas, las cuales detectan infrarrojos térmicos. Las Bandas de TIRS posibilitan el uso de algoritmos para la recuperación de valores de temperatura superficial y la corrección atmosférica. (Ariza, 2013)

Tabla 2.

Bandas espectrales TIRS

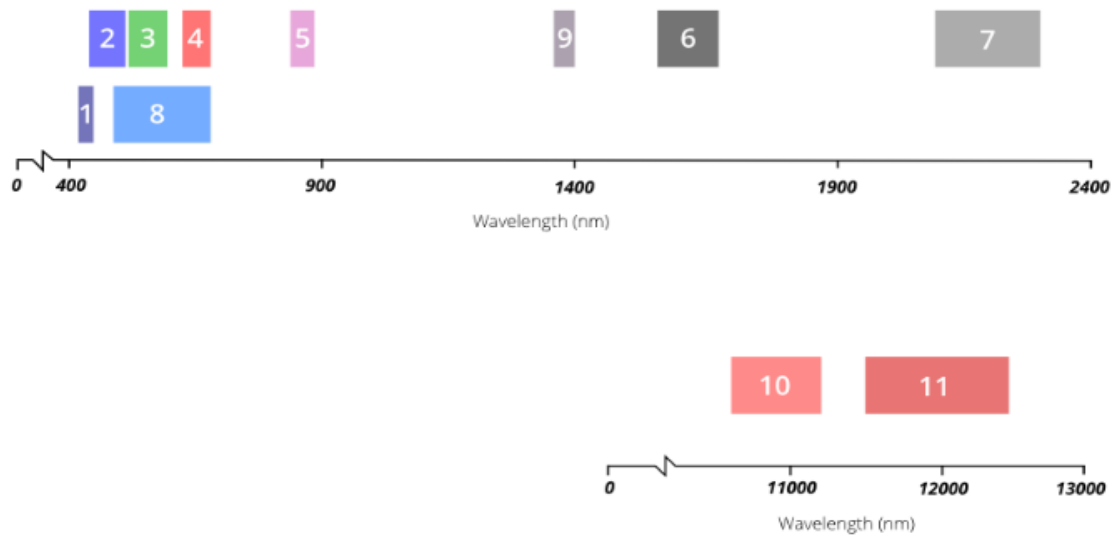
N° Banda	Descripción	Ancho de banda (nm)	Centro tolerancia (\pm nm)	Mínimo inferior (nm)	Máximo superior (nm)
10	Thermal 1	10800	200	10300	11300
11	Thermal 2	12000	200	11500	12500

Nota. Características de las bandas espectrales Landsat 8. Tomado de: (Ariza, 2013)

De las 11 bandas antes mencionadas solo las bandas de 1-4 y 8 perciben la luz visible, estas son de longitudes de onda cortas, las demás son aquellas que se encuentran en la parte que no podemos ver del espectro.

Figura 6.

Longitud de onda de las bandas OLI y TIRS.



Nota. El grafico muestra el rango en el cual se mantienen las bandas OLI y TIRS. Tomado de: (USGS, 2013)

3.11. Sistema de Variables

Para la estimación de las islas de calor urbano en el DMQ se utilizaron índices NDVI y NDBI, para saber la cantidad de vegetación y su distribución y las zonas que tienen edificaciones y caracterizar su distribución espacial, respectivamente. Para lograr la evaluación de las ICU se utilizan los índices de diferencia normalizada ya mencionados y su correlación con la temperatura superficial terrestre.

3.11.1. Índices de diferencia normalizada

Se calculan índices de diferencia normalizada para conocer mediante pares de bandas diferentes aspectos, en este caso en particular la vegetación y edificaciones del área delimitada. “Los índices de diferencia normalizada son parámetros que proporcionan información de las propiedades ópticas del suelo y se obtienen a partir de la combinación de valores de reflectividad de pares de bandas” (Baño , 2017).

3.11.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, este utiliza las bandas espectrales roja y cercana al infrarrojo, siendo este un indicador numérico. Como ya se había mencionado antes este indicador está ampliamente asociado y se utiliza para el contenido de vegetación en un área definida.

Para el obtener el NDVI se debe aplicar la ecuación 1 (CONAE, 2016), donde se obtienen valores entre -1 y 1, donde según Landscape (2007):

Los valores inferiores a cero no aportan significado desde el punto de vista ecológico, mientras que, valores cercanos a la unidad se asocian con alta actividad fotosintética y valores bajos indican ausencia de vegetación o poca reflexión de luz del infrarrojo.

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

NIR= banda 5, R= banda 4

3.11.1.2. Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones NDBI

Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones NDBI permite conocer el índice de superficies con edificaciones zonas de impermeabilidad por la configuración y densidad de las ciudades. Esta es una herramienta que ayuda al análisis territorial.

Este índice utiliza las bandas de onda corta del infrarrojo SWIR y del infrarrojo cercano NIR, Para obtener el NDBI se debe aplicar la ecuación 2 (CONAE, 2016), donde según Baño (2017) valores cercanos a cero son característicos de zonas urbanas.

$$NDVI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)} \quad (Ec. 2)$$

Dónde:

NIR= banda 5, SWIR= banda 6.

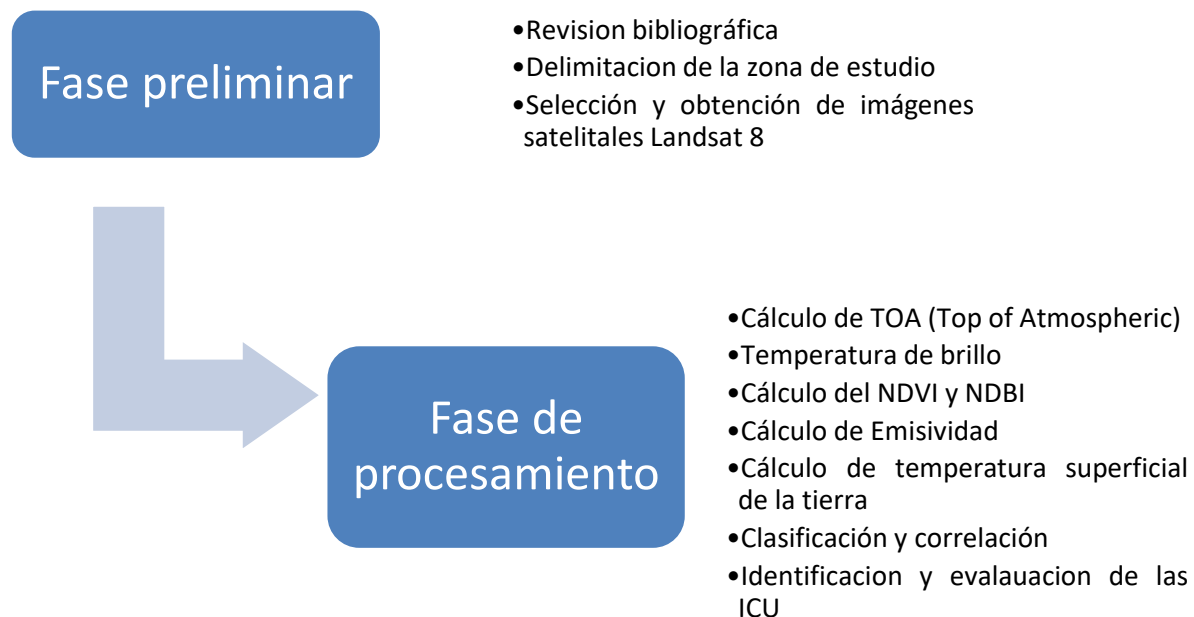
4. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se detalla los materiales y métodos que fueron utilizados en el transcurso de la investigación. Mediante las imágenes satelitales descargadas del portal web earth explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) se utilizaron diferentes índices, además de información climática extraída de la Secretaria de Ambiente Quito y del INAMHI, así como datos de la población del DMQ extraídos del INEC.

Se busca caracterizar a las Islas de Calor Urbano, mediante la corrección de las imagines satelitales Landsat 8 entre los años 2013 al 2019, teniendo de esta manera dos fases, una preliminar y una de procesamiento que se muestran en la siguiente gráfica:

Figura 7.

Pasos para la investigación



Nota. En la gráfica se muestra los pasos a seguir para obtener los resultados de la investigación. Elaborado por:

Lozada V. (2020)

4.1. Fase preliminar

4.1.1. Estaciones meteorológicas

Para la adquisición de información acerca de la temperatura se requiere usar datos obtenidos por diferentes estaciones meteorológicas que se encuentran dentro del área de estudio. A continuación, se detalla la información acerca de las 9 estaciones que se utilizaron.

Tabla 3.

Estaciones Meteorológicas Secretaría de Ambiente Quito

Código INAMHI	Estación Meteorológica	Coordenadas Geográficas	X	Y
M 5036	Carapungo	78°26'50" W, 0°5'54" S	784154,4982	9989120,343
M5035	Cotocollao	78°29'50"W, 0°6'28" S	778585,2203	9988075,866
	Jipijapa	78°28'48" W, 0°09'36" S	780502,8797	9982297,958
M 5037	Belisario	78°29'24" W, 0°10'48" S	779388,7665	9980085,356
M 5038	El Camal	78°30'36" W, 0°15'00" S	777159,8799	9972341,196
	Centro	78°30'36" W, 0°13'12" S	777160,4719	9975660,253
M 5039	Guamaní	78°33'5" W, 0°19'51" S	772548,1288	9963399,33
M 5040	Tumbaco	78°24'00" W, 0°12'36" S	789412,9847	9976764,609
M5041	Los Chillos	78°27'36" W, 0°18'00" S	782727,7981	9966808,154

Nota. No se registra código del INAMHI en las estaciones Jipijapa y Centro. Tomado de: (Secretaría de Ambiente Quito, 2020)

4.1.2. Área de estudio

El Distrito Metropolitano de Quito, tiene características climatológicas variadas y diversos ecosistemas, además de tener un contexto geográfico irregular. Según Baño (2017) el DMQ cuenta con quince tipos de climas.

Tabla 4.*Tipos de climas en el Distrito Metropolitano de Quito*

Clima	Área en el DMQ (%)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
Tropical lluvioso	0,8	>3,000	>22°
Tropical megatérmico muy húmedo	0,9	2,000-3,000	>22°
Tropical megatérmico húmedo	0,1	1,000-2,000	>22°
Subtropical mesotérmico lluvioso	3,0	>3,000	18-22°
Subtropical mesotérmico húmedo	7,0	1,000-2,000	18-22°
Subtropical mesotérmico semi-húmedo	1,1	500-1,000	18-22°
Subtropical mesotérmico seco (Templado seco)	0,2	<500	18-22°
Ecuatorial mesotérmico muy húmedo	17,4	>2,000	12-18°
Ecuatorial mesotérmico húmedo	20,8	1,000-2,000	12-18°
Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo	13,4	500-1,000	12-18°
Ecuatorial mesotérmico seco	4,0	<500	12-18°
Ecuatorial frío húmedo	12,0	>1,000	8-12°
Ecuatorial frío húmedo	3,5	500-1,000	8-12°
Páramo	14,2	>500	4-8°
Nival	1,6	>500	<4°

Nota. Esta tabla muestra los tipos de climas en el DMQ. Tomado de: (EcuadorEC, 2018)

La configuración de la ciudad tiene 5 áreas geográficas:

- Norte
- Centro Norte
- Centro Sur
- Sur
- Valles

Cada área geográfica tiene distinta conducta física, meteorológica y urbanística. La densidad y crecimiento de la población en cada zona permite que el análisis de las islas de calor sea factible en las 5 áreas geográficas; en el presente estudio se toma el sur del DMQ como principal zona de estudio por la densidad estructural (crecimiento vertical) y el disminuido porcentaje de áreas verdes que allí existe.

Para fines del estudio se tomó y procesó imágenes de todo el DMQ, el cual cuenta con parroquias tanto rurales como urbanas divididas en las 9 administraciones zonales siendo estas las siguientes:

Tabla 5.

Parroquias Urbanas y Rurales del Distrito Metropolitano de Quito

Administración Zonal	Parroquias
Área Urbana	
Ciudad Consolidada	
Eloy Alfaro	La Mena, Solanda, La Argelia, San Bartolo, La Ferroviaria, Chilibulo, La Magdalena, Chimbacalle
Eugenio Espejo	Belisario Quevedo, Mariscal Sucre, Ñaquito, Rumipamba, Jipijapa, Cochapamba, Concepción, Kennedy, S. Isidro del Inca
Manuela Sáenz	Puengasí, La Libertad, Centro Histórico, Itchimbía, San Juan
Periferia Urbana	
La Delicia	Cotacollao, Ponceano, Comité del Pueblo, El Condado, Carcelén
Quitumbe	Guamaní, Turubama, La Ecuatoriana, Quitumbe, Chillogallo
Disperso Urbano	disperso
Área Rural	
Área Suburbana	
Los Chillos	Conocoto
Calderón	Calderón, Llano Chico
Tumbaco	Tumbaco, Cumbayá
Eugenio Espejo	Nayón, Zambiza
La Delicia	Pomasqui, San Antonio
Área Rural	
Eloy Alfaro	Lloa
La Delicia	Delegación Noroccidente, Calacalí, Nono
Eugenio Espejo	Delegación Norcentral
Tumbaco	Delegación Aeropuerto
Los Chillos	Amaguaña, Guangopolo, Alangasí, La Merced, Pintag

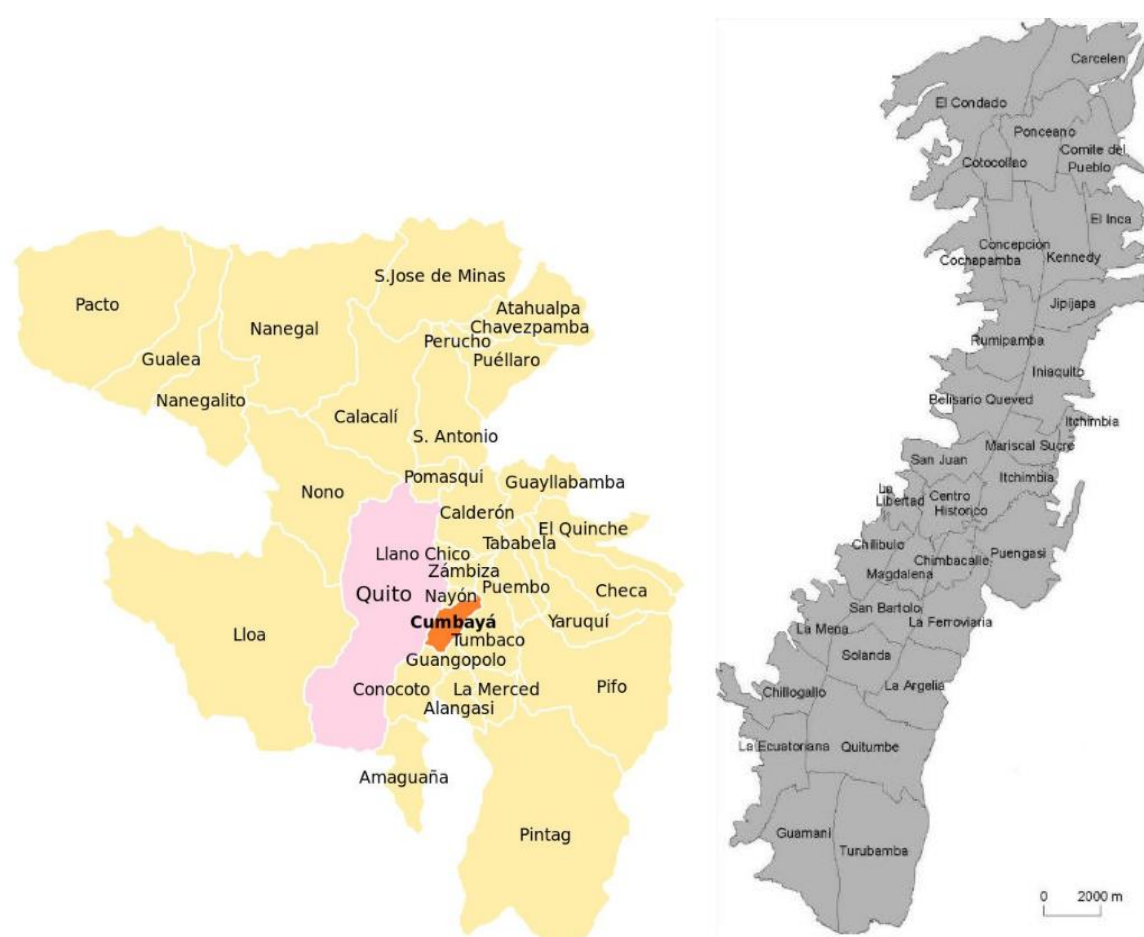
Nota. Esta tabla muestra la distribución urbana y rural del DMQ. Tomado de: (Gobierno Provincial de Pichincha ,

2002)

Las parroquias tanto rurales como urbanas cada vez más se van modificando, esto implica un crecimiento de las zonas impermeables, además de que cada vez las zonas rurales se asemejan a las zonas urbanas.

Figura 8.

Mapa de las parroquias rurales y urbanas del DMQ.



Nota. La imagen muestra el mapa del DMQ dividido por sus parroquias urbanas y rurales. Tomado de: (EcuadorEC, 2018)

4.1.3. Selección y obtención de imágenes satelitales Landsat 8

La selección y obtención de imágenes satelitales se realizó mediante el sitio web Earth Explorer, el cual maneja información satelital de todo el mundo, este sitio web almacena información de libre acceso. En esta plataforma digital se puede obtener información de la misión Landsat y todos sus satélites en órbita los cuales son monitoreados por la NASA.

Para el presente estudio se eligió el periodo de investigación 2013-2019, considerando el año 2013 debido a que en este se inicia la misión Landsat 8. Para la selección de las imágenes se tomó en cuenta la nubosidad de las imágenes, teniendo así 24 imágenes:

Tabla 6.

Fechas de las imágenes satelitales seleccionadas

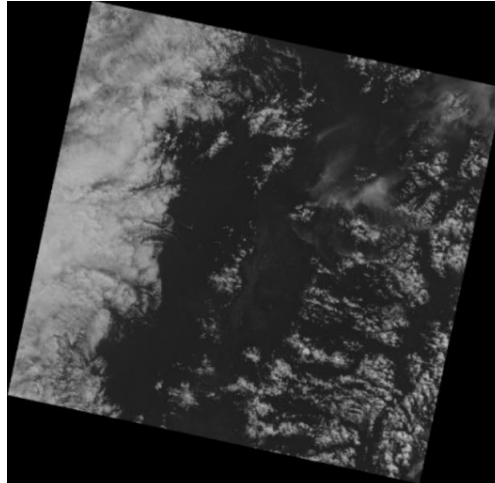
Imágenes seleccionadas						
2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
4 de Mayo	15 de Enero	23 de Marzo	19 de Octubre	23 de Enero	26 de Enero	9 de Agosto
21 de Junio	10 de Julio	11 de Junio	20 de Noviembre	3 de Agosto	5 de Julio	25 de Agosto
7 de Julio	26 de Julio	15 de Septiembre	22 de Diciembre	20 de Septiembre	6 de Agosto	10 de Septiembre
25 de Septiembre	30 de Octubre					
11 de Octubre						
28 de Noviembre						
14 de Diciembre						

Nota. La tabla muestra los días con los cuales se hicieron los mapas térmicos. Elaborado por: Lozada V. (2020)

En la página web Earth Explorer se descargan archivos por días, en los archivos descargados se muestra una selección de datos referentes a las bandas de las imágenes además las imágenes satelitales de esta forma:

Figura 9.

Imagen satelital descargada de earth explorer sin procesamiento.



Nota. Se muestra una imagen tal como se descarga del portal earth explorer. Elaborado por: Lozada V. (2020)

4.2. Fase de procesamiento

Para poder realizar el procesamiento y/o corrección de las imágenes satelitales se requiere los datos que se descargan junto con las imágenes de la plataforma Earth Explorer.

4.2.1. Cálculo del TOA

Cálculo de TOA (Top of Atmospheric) radiancia espectral. Los datos de banda OLI y TIRS se pueden convertir a radiancia espectral TOA utilizando los factores de reescalado de radiancia proporcionados en el archivo de metadatos MTL el cual viene en la descarga de archivos de Earth Explorer.

Figura 10.

Datos MTL de la descarga de imágenes satelitales.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
LC08_L1TP_010060_20130504_20170504_01_T1_MTL: Bloc de notas				
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535 QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1 QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535 QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1 QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535 QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1 END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2346E-02 RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2642E-02 RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1658E-02 RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8238E-03 RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0117E-03 RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.4951E-03 RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0391E-04 RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1118E-02 RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3495E-03 RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04 RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04 RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.72975 RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.21202 RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.24933 RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.11912 RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.05845 RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.47526 RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.51956				
LC08_L1TP_010060_20130504_20170504_01_T1_MTL: Bloc de notas				
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1118E-02 RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3495E-03 RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04 RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04 RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.72975 RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.21202 RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.24933 RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.11912 RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.05845 RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.47526 RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.51956 RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.58933 RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.74752 RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000 RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000 REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05 REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000 REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000				

Nota. La imagen muestra las constantes de las imágenes descargadas. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Con los datos obtenidos del archivo MTL se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

L_{λ} : TOA radiancia espectral

M_L : Factor de reescalado multiplicativo específico de banda (RADIANCE_MULT_BAND)

Q_{cal} : Banda 10

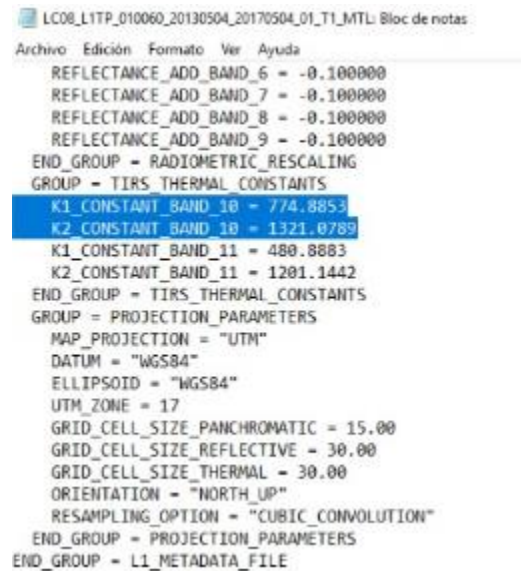
A_L : Factor de reescalado aditivo específico de la banda (RADIANCE_ADD_BAND)

4.2.2. Conversión de TOA a Brightness Temperature (Temperatura de brillo)

Conversión a la temperatura de brillo de la atmósfera. Los datos de la banda TIRS se pueden convertir de la radiación espectral a la temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera utilizando las constantes térmicas proporcionadas en el archivo de metadatos.

Figura 11.

Datos MTL de la descarga de imágenes satelitales.



```
LC08_L1TP_010060_20130504_20170504_01_T1_MTL: Bloc de notes
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 17
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
```

Nota. La imagen muestra las constantes utilizadas para el cálculo de los índices necesarios. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Con el cálculo previo de TOA y con los datos obtenidos del archivo MTL se utiliza la siguiente ecuación:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{Ec. 4})$$

Transformación de grados Kelvin (K) a grados Celsius (°C):

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15$$

Dónde:

BT: temperatura de brillo de la parte superior de la atmósfera (K)

L_λ : TOA radiancia espectral

K_1 : Constante de conversión térmica específica de la banda (K1_CONSTANT_BAND)

K_2 : Constante de conversión térmica específica de la banda (K2_CONSTANT_BAND)

ln: Logaritmo natural

4.2.3. Cálculo de índices de vegetación normalizado NDVI

El método de cálculo NDVI se usa con las bandas individuales Banda 5 y Banda 4, que ocurrieron tal como las imágenes en blanco y negro (ver fig. 9).

Para el cálculo del NDVI se utiliza la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - Rojo}{NIR + Rojo}$$

∴

$$NDVI = \frac{BANDA\ 5 - BANDA\ 4}{BANDA\ 5 + BANDA\ 4}$$

4.2.4. Cálculo de índices de Construcción de Diferencia Normalizado

El cálculo de NDBI usa con las bandas individuales Banda 6 y Banda 5.

Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

∴

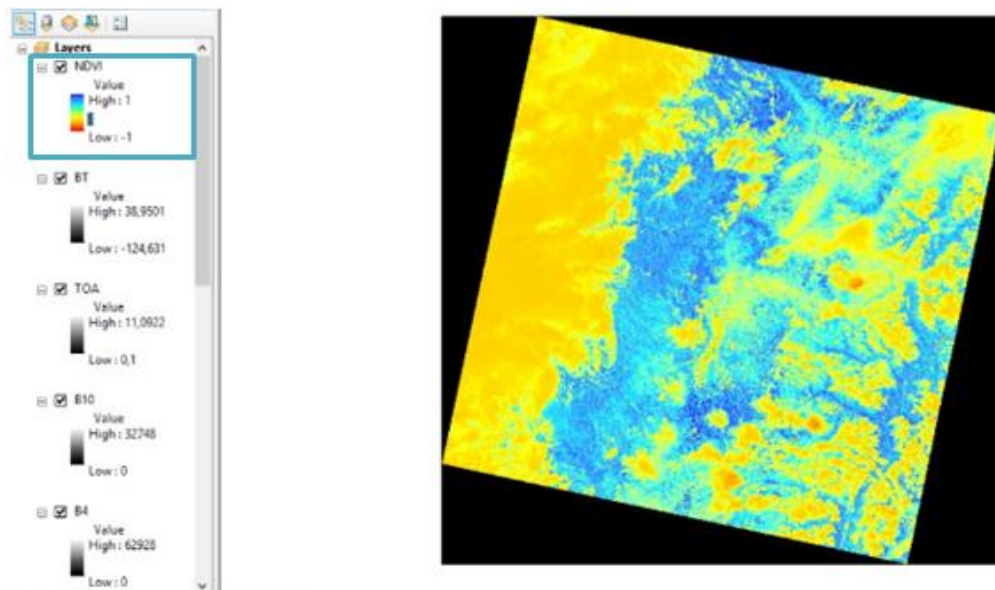
$$NDBI = \frac{BANDA\ 6 - BANDA\ 5}{BANDA\ 6 + BANDA\ 5}$$

4.2.5. Cálculo de la proporción de vegetación P_v

Para este cálculo se requieren los valores máximo y mínimo del NDVI.

Figura 12.

Procesamiento de la imagen satelital para el cálculo del NDVI.



Nota. La imagen muestra cómo se visualiza en un mapa descargado el cálculo del NDVI. Elaborado por: Lozada V.

(2020)

Para el cálculo de P_v se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

P_v : Proporción de vegetación

$NDVI_{\min}$: Este valor se encuentra en las propiedades del ráster después del cálculo de NDVI.

$NDVI_{\max}$: Este valor se encuentra en las propiedades del ráster después del cálculo de NDVI.

4.2.6. *Cálculo de la Emisividad E*

Este cálculo es para conocer la proporción de radiación térmica emitida. Se utiliza un parámetro que al tratarse de áreas urbanizadas y considerando nuestra área de estudio será de 0.986 y un valor de corrección de la ecuación siendo este 0.004, debido a que los valores obtenidos están basados o referenciados en un cuerpo negro y para poder obtener el cálculo de la temperatura superficial se necesita este valor. (Veguillas, 2016)

Para el cálculo de E se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde:

E: Emisividad de superficie

P_v : Proporción de vegetación

4.2.7. *Cálculo de la temperatura superficial*

Conversión de la temperatura del satélite a la temperatura de la superficie terrestre.

Para el cálculo de temperatura de superficie de la tierra (LST que son sus siglas en inglés, Land Surface Temperature) se utiliza la siguiente ecuación:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\lambda \frac{BT}{\rho} \right) * \ln(E)} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:

LST: Temperatura de superficie de la tierra.

BT: Temperatura de brillo superficial.

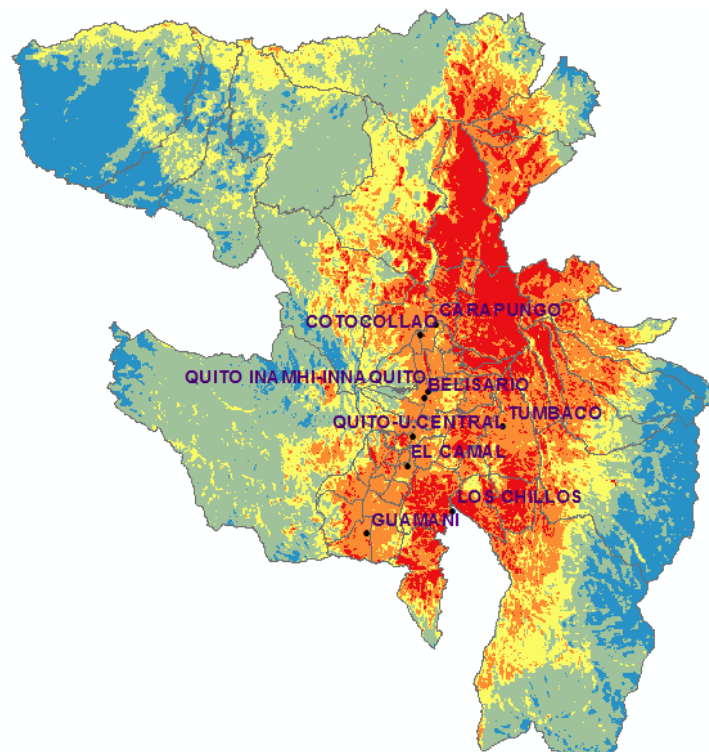
λ : Centro de longitud de onda (μm), se empleó el valor de $11.5 \mu\text{m}$.

P: $14380 \mu\text{m-K}$ ($\rho = h*c/\sigma$).

E: Emisividad.

Figura 13.

Mapa térmico del DMQ



Nota. La imagen muestra el mapa térmico del DMQ. Elaborado por: Lozada V. (2020)

4.2.8. *Coefficiente de Correlación*

Este coeficiente es una medida estadística que permite medir la fuerza de relación lineal entre dos variables cuantitativas, en este caso tenemos como variables a la temperatura superficial medida por las estaciones meteorológicas y la temperatura superficial medida con las imágenes satelitales, para obtener este coeficiente se requiere de la siguiente formula:

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X \cdot S_Y} \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

S_{XY} : Covarianza entre variables

S_X : Desviación estándar de la variable x

S_Y : Desviación estándar de la variable y

Teniendo en cuenta la ecuación antes mencionada cabe recalcar que esta medida se encuentra entre un rango de 1 a -1 pasando por el cero teniendo así las siguientes relaciones:

- Si la correlación es > 0 , esta es positiva.
- Si la correlación es < 0 , esta es negativa.
- Si la correlación es $= 0$, esta no existe.

De manera más detallada se tienen las siguientes interpretaciones:

Tabla 7.*Interpretación de correlación*

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Nota. La tabla muestra los rangos en los cuales se maneja la correlación de Pearson. Fuente: (Laguna , 2014)

Se realizó la correlación entre temperaturas de los datos de las estaciones meteorológicas y los datos de las imágenes satelitales obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8.*Correlación entre estaciones meteorológicas e imágenes satelitales*

Fecha	Valor p	Interpretación
04/05/2013	-0,21	Correlación negativa baja
21/06/2013	0,221	Correlación positiva baja
07/07/2013	0,444	Correlación positiva moderada
25/09/2013	0,456	Correlación positiva moderada
11/10/2013	-0,401	Correlación negativa moderada
28/11/2013	0,438	Correlación positiva moderada
14/12/2013	0,077	Correlación positiva muy baja

Fecha	Valor p	Interpretación
15/01/2014	0,394	Correlación positiva baja
10/07/2014	0,928	Correlación positiva muy alta
26/07/2014	0,489	Correlación positiva moderada
30/10/2014	0,237	Correlación positiva baja

Fecha	Valor p	Interpretación
23/03/2015	0,076	Correlación positiva muy baja
11/06/2015	-0,0052	Correlación negativa muy baja
15/09/2015	-0,487	Correlación negativa moderada

Fecha	Valor p	Interpretación
19/10/2016	-0,21	Correlación negativa baja
20/11/2016	-0,181	Correlación negativa muy baja
22/12/2016	0,1202	Correlación positiva muy baja

Fecha	Valor p	Interpretación
23/01/2017	0,677	Correlación positiva moderada
03/08/2017	0,754	Correlación positiva alta
20/09/2017	0,815	Correlación positiva alta

Fecha	Valor p	Interpretación
26/01/2018	0,749	Correlación positiva alta
05/07/2018	0,158	Correlación positiva muy baja
06/08/2018	0,851	Correlación positiva alta

Fecha	Valor p	Interpretación
09/08/2019	0,399	Correlación positiva baja
25/08/2019	0,165	Correlación positiva muy baja
10/09/2019	0,596	Correlación positiva moderada

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de la correlación entre LST y la temperatura de las estaciones meteorológicas. Elaborado por: Lozada V. (2020)

En la tabla anterior se tiene el resultado del cálculo de la correlación de Pearson, donde se muestran 20 correlaciones positivas (entre correlación positiva muy baja y correlación positiva muy alta) y 6 correlaciones negativas (entre correlación negativa muy baja y correlación negativa muy alta), lo cual muestra que si hay una correlación directa entre la temperatura obtenida mediante las imágenes satelitales y la obtenida en las estaciones meteorológicas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. *Cálculo de la temperatura superficial terrestre*

Para el obtener de la temperatura superficial terrestre se utilizaron las imágenes satelitales, Landsat 8, descargadas de Earth Explorer, para lo cual se utilizó el programa Arcgis 10.5 y las bandas satelitales 10, 4 y 5. Obteniendo valores máximos y mínimos en cada imagen procesada. En la tabla (ver Anexo 1) se muestran los resultados máximos y mínimos obtenidos después del procesamiento de cada imagen obtenida en el periodo de tiempo 2013-2019.

5.1.2. *Temperatura superficial terrestre en las estaciones meteorológicas*

Se procedió a obtener información meteorológica del área delimitada, esto para cada imagen satelital que se obtuvo, de 6 estaciones meteorológicas antes mencionadas, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 9.

Datos de la temperatura según estaciones meteorológicas y días de las imágenes satelitales

Código INAMHI	Estaciones						
	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
04/05/2013	18,555	18,87	17,945	18,705	18,28	19,32	21,045
21/06/2013	18,1	18,595	17,935	17,495	17,435	19,475	21,11
07/07/2013	17,425	18,785	19,34	17,53	17,485	18,575	21,065
25/09/2013	18,075	18,94	19,195	18,175	18	18,045	22,205
11/10/2013	18,285	18,455	19,39	18,31	18,545	18,775	20,72
28/11/2013	18,12	18,6	17,64	18,09	17,6	17,39	20,8
14/12/2013	18,94	18,655	18,05	17,55	18,405	18,65	20,625

Estaciones							
Código INAMHI	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
15/01/2014	18,305	18,35	18,35	17,82	18,285	16,77	19,925
10/07/2014	18,52	18,755	18,79	18,275	18,055	17,165	21,945
26/07/2014	16,73	17,19	17,7363	16,495	16,675	18,59	18,54
30/10/2014	18,93	18,59	18,5325	18,53	18,055	17,5	21,14

Estaciones							
Código INAMHI	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
23/03/2015	17,795	17,815	17,805	17,8	17,8025	19,45	20,925
11/06/2015	18,795	19,36	19,0775	18,46	18,7688	19,15	21,26
15/09/2015	19,53	20,37	19,95	19,365	19,6575	20,5	23,585

Estaciones							
Código INAMHI	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19/10/2016	18,535	19,535	19,035	18,565	21,3375	18,48	21,765
20/11/2016	16,4	17,175	16,7875	17,16	19,8425	18,765	19,745
22/12/2016	16,52	17,005	16,7625	16,94	16,495	19,86	19,725

Estaciones							
Código INAMHI	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
23/01/2017	16,52	17,475	16,9975	17,85	16,55	16,5	18,01
3/08/2017	18,06	19,805	21,4225	18,68	18,62	16,135	21,53
20/09/2017	18	18,5	21,4925	18,365	17,78	15,915	21,57

Estaciones							
Código INAMHI	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
26/01/2018	18,31	18,88	18,595	18,34	18,34	16,81	19,16
5/07/2018	16,67	18,38	17,525	17,405	17,465	14,38	21,07
6/08/2018	18,035	19,805	18,92	18,28	17,45	14,83	20,725

Estaciones							
Código INAMHI	M 5037	M5036		M5035	M 5038	M 5039	M 5041
Nombre	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El camal	Guamaní	Los chillos
Fecha	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
09/08/2019	18,535	18,48	20,33	19,01	18,535	18,93	16,77
25/08/2019	19,255	18,765	20,695	19,67	19,255	19,455	17,165
10/09/2019	19,67	19,86	20,97	20,36	19,67	19,96	18,59

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas. Elaborado por: Lozada V. (2020)

5.1.3. Cálculo del NDVI

Para el cálculo de este índice se utilizaron las bandas 4 y 5 de las imágenes de Landsat 8, esto para representar al infrarrojo cercano y al rojo, esto mediante la fórmula (ver Ec. 1). Se

obtuvieron resultados para toda el área delimitada y para cada sector donde se ubican las estaciones meteorológicas (ver anexo 1).

5.1.4. Análisis de los valores obtenidos de LST

De acuerdo a los datos obtenidos en el procesamiento de imágenes satelitales se obtuvo como mayor valor de temperatura superficial 40.9476°C correspondientes al día 15/09/2015; mientras que el menor valor corresponde a 3.78301°C correspondiente al día 05/07/2018. La diferencia correspondiente a estas temperaturas es 37.16459°C. Para visualizar de mejor manera lo antes mencionado se realizó mediante Excel histogramas del día en el cual se tuvo la mayor y menor temperatura.

Tabla 10.

Valores obtenidos en Excel para el Histograma del mayor LST

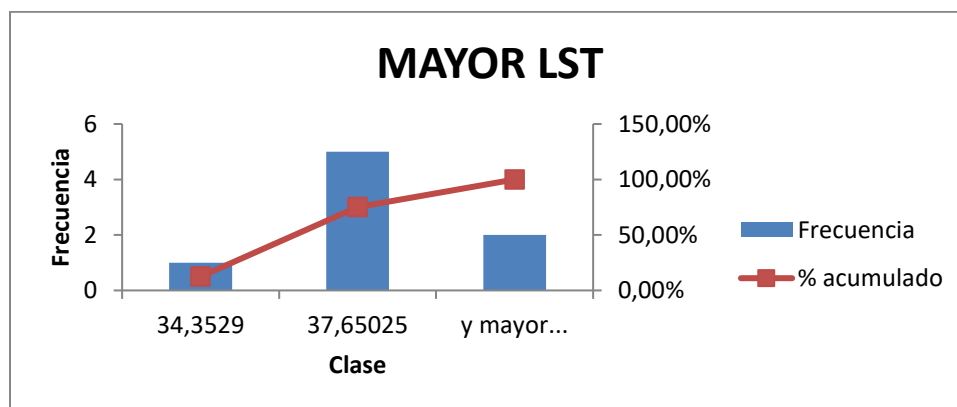
15/9/2015		Clase	Frecuencia	% acumulado
Nombre	LST_DMQ_14	34,3529	1	12,50%
Carapungo	40,9476	37,65025	5	75,00%
Belisario	35,2005	y mayor...	2	100,00%
Centro	38,4181			
Cotocollao	36,3829			
El Camal	34,5471			
Guamaní	34,3529			
Jipijapa	35,7126			
Tumbaco	36,6614			

Nota. La tabla muestra los valores para elaborar el histograma de mayor valor de temperatura. Elaborado por:

Lozada V. (2020)

Figura 14.

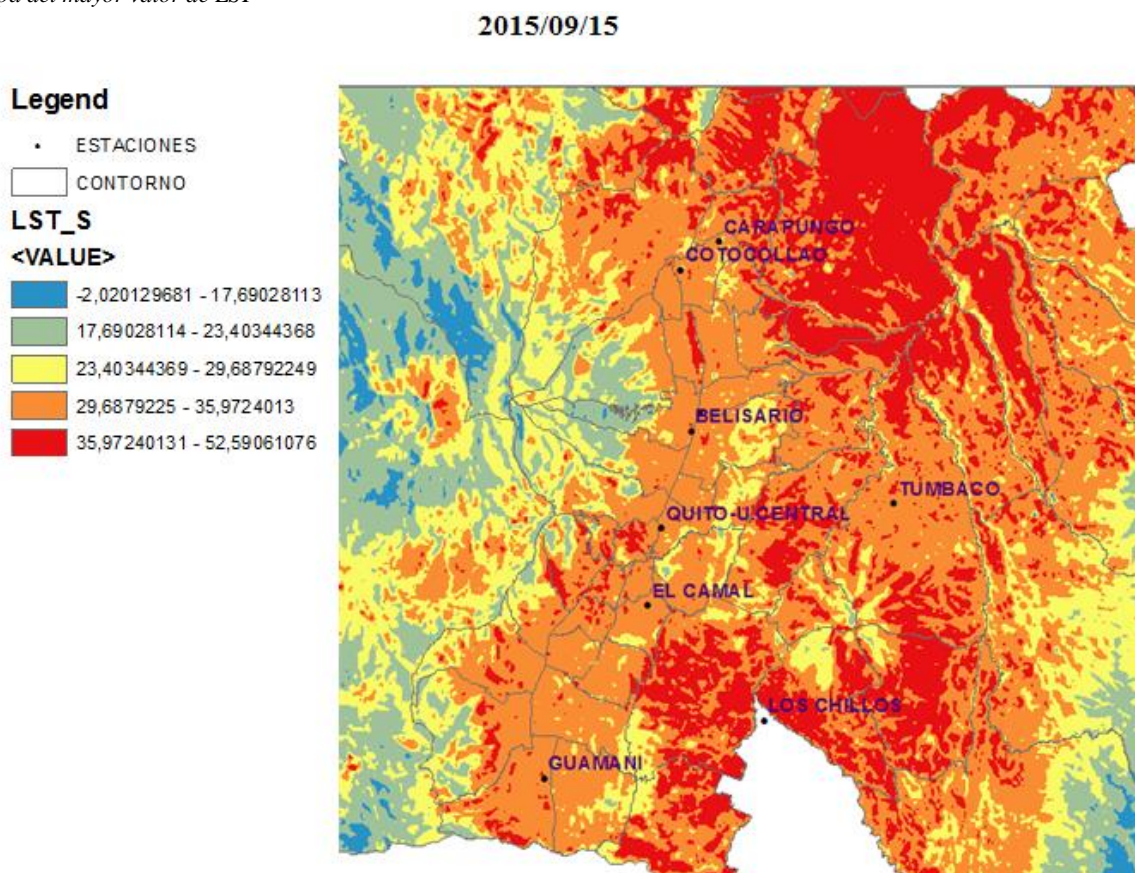
Histograma del mayor valor de LST



Nota. La grafica muestra el mayor valor de temperatura del período 2013-2019. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Figura 15.

Mapa del mayor valor de LST



Nota. La imagen muestra el mapa con mayor valor de temperatura. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Tabla 11.

Valores obtenidos en Excel para el Histograma del menor valor LST

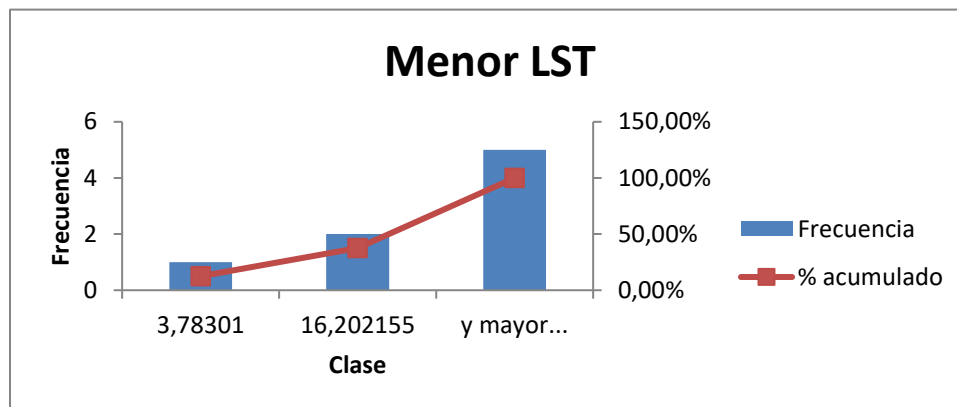
5/7/2018		Clase	Frecuencia	% acumulado
Nombre	LST_DMQ_22			
Belisario	23,7177	3,78301	1	12,50%
Carapungo	28,6213	16,202155	2	37,50%
Centro	9,50463	y mayor...	5	100,00%
Cotocollao	23,1895			
El Camal	3,78301			
Guamaní	15,4705			
Jipijapa	21,8363			
Tumbaco	27,9506			

Nota. La tabla muestra los valores para elaborar el histograma de menor valor de temperatura. Elaborado por: Lozada V.

(2020)

Figura 16.

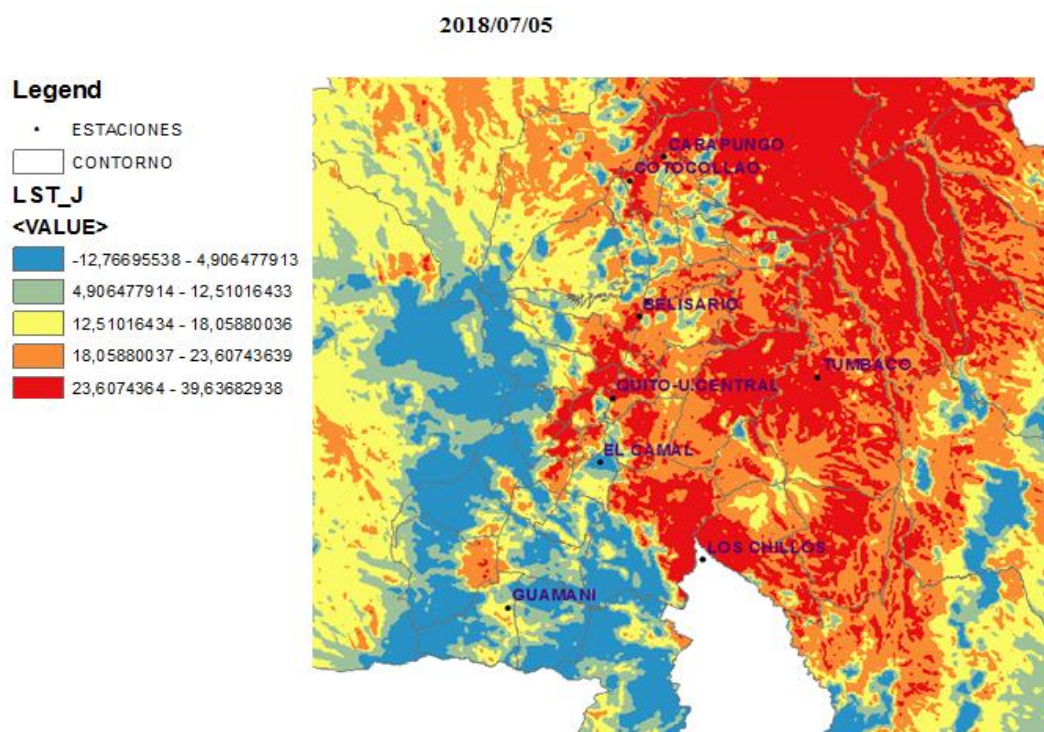
Histograma del menor valor de LST



Nota. La grafica muestra la el menor valor de temperatura del año 2018.Elaborado por: Lozada V. (2020)

Figura 17.

Mapa del menor valor de LST



Nota. La imagen muestra el mapa con el menor valor de temperatura, se puede observar en la estación Guamaní.

Elaborado por: Lozada V. (2020)

5.1.5. Caracterización de Islas de Calor de cada año

5.1.5.1. 2013 LST

Para este año existen 7 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 35.7608°C correspondiente al día 25 de septiembre en el sector de Carapungo y una temperatura mínima de 8.03449°C correspondiente al día 10 de octubre en el sector Tumbaco; existiendo una diferencia de 27.72631°C . Además, al comparar el primer mes (mayo) que se tiene en este año y el último (diciembre) se registra un incremento de 2.73°C de temperatura.

5.1.5.2. 2014 LST

Para este año existen 4 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 31.3197°C correspondiente al día 10 de julio al sector Centro y una temperatura mínima de 19.1418°C correspondiente al día 26 de julio en el sector de Tumbaco; existiendo una diferencia de 12.1779°C. Además, al comparar el primer mes (enero) que se tiene en este año y el último (octubre) se registra un incremento de 1.36 °C de temperatura.

5.1.5.3. 2015 LST

Para este año existen 3 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 40.9476°C correspondiente al día 15 de septiembre en el sector Carapungo y una temperatura mínima de 18.0362°C correspondiente al día 23 de marzo al sector de Carapungo; existiendo una diferencia de 22.91°C. Además, al comparar el primer mes (marzo) que se tiene en este año y el último (septiembre) se registra un incremento de 11.64 °C de temperatura.

5.1.5.4. 2016 LST

Para este año existen 3 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 37,7557°C correspondiente al día 19 de octubre al sector Centro y una temperatura mínima de 9,33526°C correspondiente al día 22 de diciembre al sector El Camal; existiendo una diferencia de 28.42°C. Además, al comparar el primer mes (octubre) que se tiene en este año y el último (diciembre) se registra un incremento de 7.16 °C de temperatura.

5.1.5.5. 2017 LST

Para este año existen 3 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 35.4522°C correspondiente al día 20 de septiembre en el sector Centro y una

temperatura mínima de 13.1562°C correspondiente al día 23 de enero en el sector Guamaní; existiendo una diferencia de 22.296°C. Además, al comparar el primer mes (enero) que se tiene en este año y el último (septiembre) se registra un incremento de 9.62 °C de temperatura.

5.1.5.6. 2018 LST

Para este año existen 3 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 33.7828°C correspondiente al día 26 de enero en el sector Centro y una temperatura mínima de 3.78301°C correspondiente al día 5 de julio en el sector Centro; existiendo una diferencia de 29.99979°C. Además, al comparar el primer mes (enero) que se tiene en este año y el último (agosto) se registra una disminución de 1.33 °C de temperatura.

5.1.5.7. 2019 LST

Para este año existen 3 imágenes de distintos meses, en este año se presenta una temperatura máxima de 38.2037°C al 10 de septiembre en el sector Centro y una temperatura mínima de 27.2548°C correspondiente al día 9 de agosto en el sector Guamaní; existiendo una diferencia de 10.95°C. Además, al comparar el primer mes (agosto) que se tiene en este año y el último (septiembre) se registra un incremento de 4.29 °C de temperatura.

5.1.6. *Análisis de los valores obtenidos de NDVI*

De acuerdo a los datos obtenidos en el procesamiento de imágenes satelitales se obtuvo como mayor valor 0.270148 el cual corresponde al sector Tumbaco el día 15 de enero del 2014, como valor mínimo 0.006218 correspondiente al sector Carapungo el día 23 de marzo del 2015. Este comportamiento está presente en la mayoría de años como se verá más adelante. Para visualizar de mejor manera lo antes mencionado se realizó mediante Excel histogramas del día en el cual se tuvo el mayor y menor índice de vegetación.

Tabla 12.

Valores obtenidos en Excel para el Histograma del mayor valor NDVI

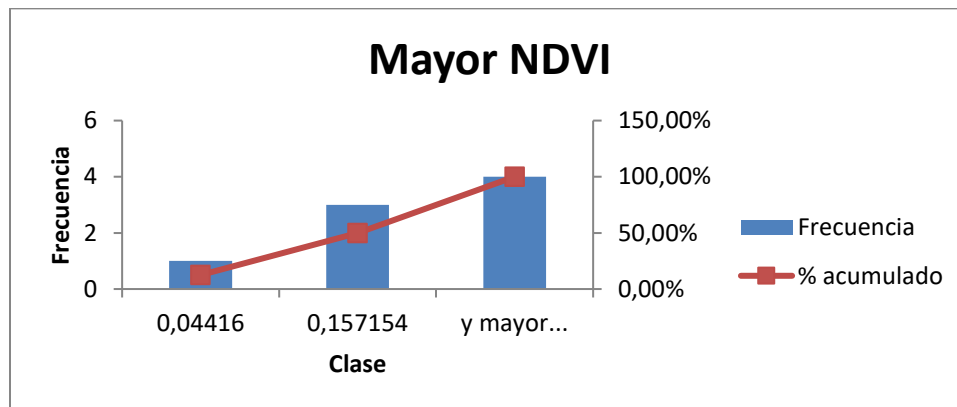
15/1/2014		Clase	Frecuencia	% acumulado
Nombre	NDVI_DMQ			
Belisario	0,04416	0,04416	1	12,50%
Carapungo	0,165991	0,157154	3	50,00%
Centro	0,062313	y mayor...	4	100,00%
Cotocollao	0,045899			
El Camal	0,174713			
Guamaní	0,233359			
Jipijapa	0,053787			
Tumbaco	0,270148			

Nota. La tabla muestra los valores utilizados para el cálculo y elaboración del histograma y sus resultados.

Elaborado por: Lozada V. (2020)

Figura 18.

Histograma del mayor valor de NDVI.

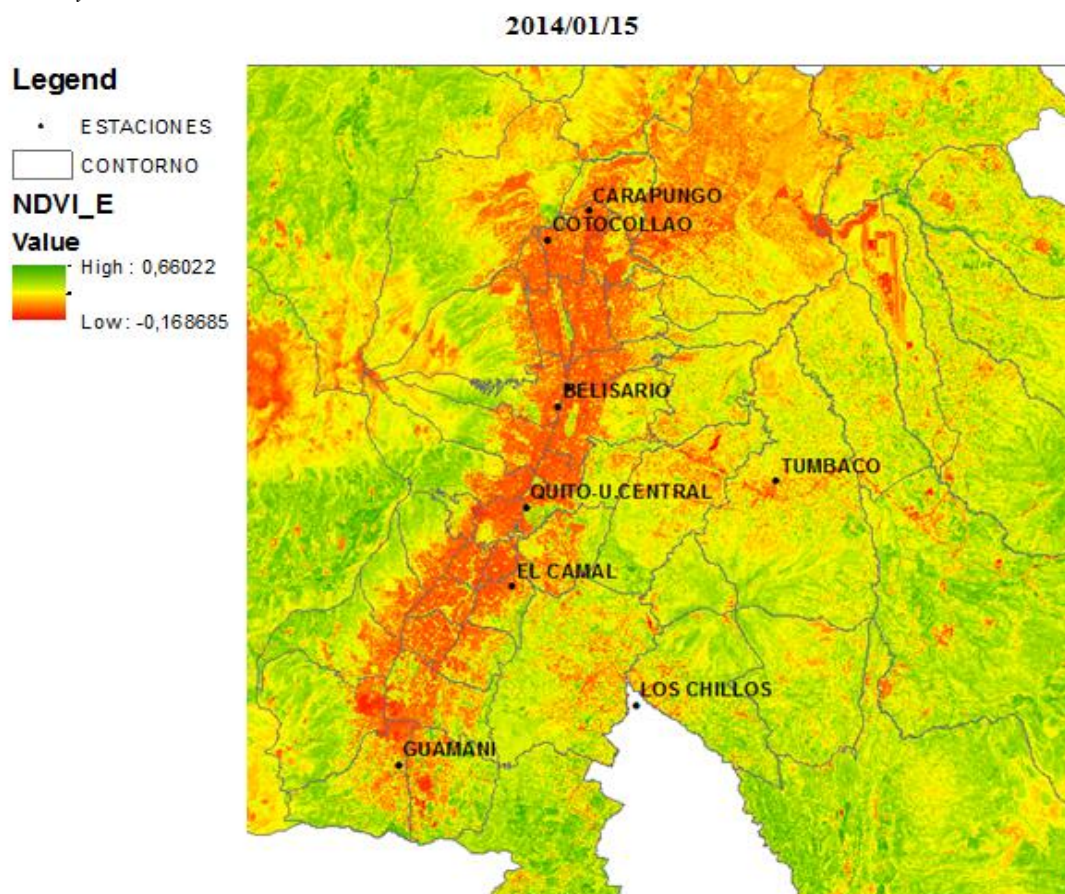


Nota. La grafica muestra cómo se relacionan los valores obtenidos en el día con mayor NDVI. Elaborado por:

Lozada V. (2020)

Figura 19.

Mapa del mayor valor de NDVI



Nota. La imagen muestra el mapa del NDVI del 2014. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Tabla 13.

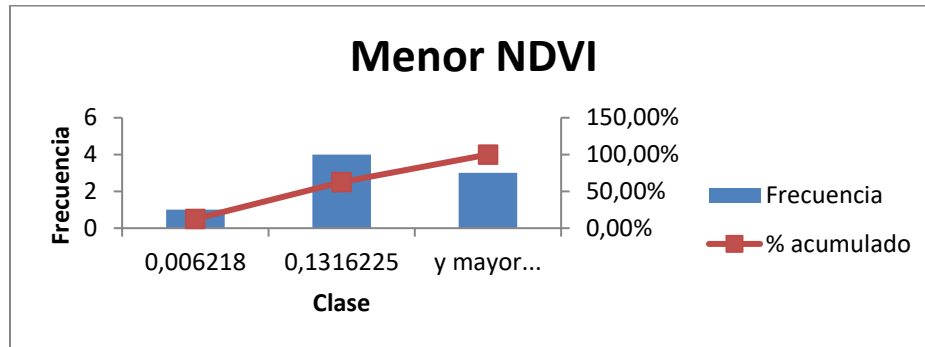
Valores obtenidos en Excel para el Histograma del menor valor NDVI

23/3/2015		Clase	Frecuencia	% acumulado
Nombre	NDVI_DMQ_4	0,006218	1	12,50%
Carapungo	0,006218	0,1316225	4	62,50%
Belisario	0,062536	y mayor...	3	100,00%
Centro	0,059287			
Cotocollao	0,040165			
El Camal	0,159176			
Guamaní	0,257027			
Jipijapa	0,068742			
Tumbaco	0,238737			

Nota. La tabla muestra los valores utilizados para el cálculo y elaboración del histograma. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Figura 20.

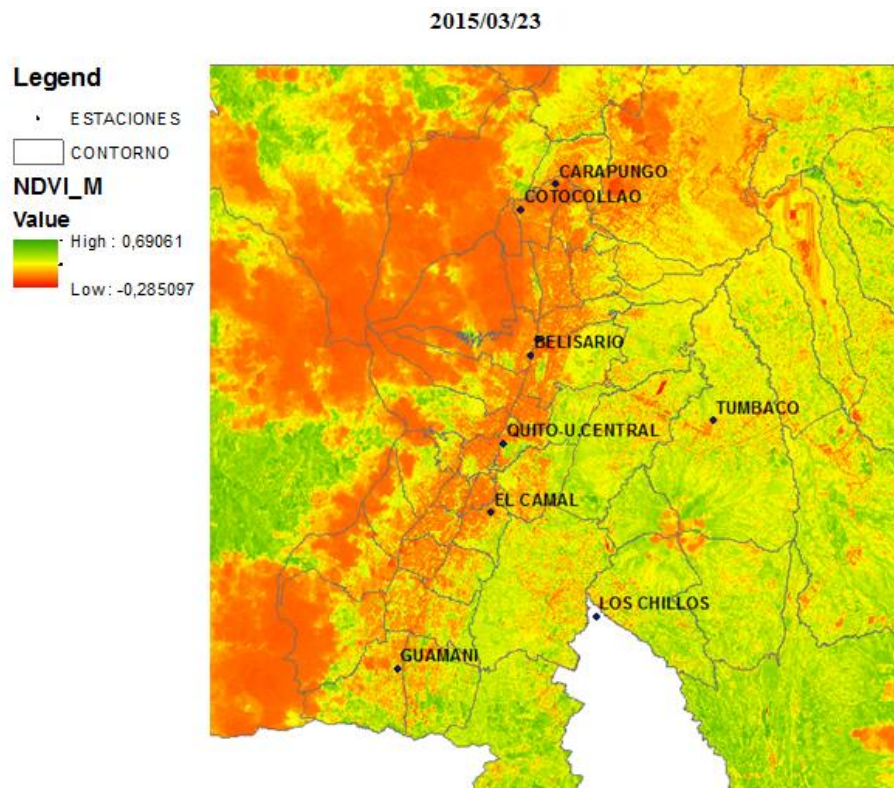
Histograma del menor valor de NDVI.



Nota. La grafica muestra el menor valor de NDVI. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Figura 21.

Mapa del menor valor de NDVI



Nota. La imagen muestra el NDVI en el año 2015. Elaborado por: Lozada V. (2020)

5.1.7. *Caracterización de NDVI por año*

Se tomó para el cálculo del índice normalizado de vegetación como puntos de referencia la ubicación de las estaciones meteorológicas. Para la obtención de este índice se requirió la herramienta ráster calculator del programa de georreferenciación ArcGIS 10.5.

5.1.7.1. 2013 NDVI

Para este año se obtuvieron 7 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 14 de diciembre existe o se logra apreciar un índice máximo de 0.244769 en el sector de Tumbaco, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Cotocollao el día 25 de septiembre con un índice de 0,008866.

5.1.7.2. 2014 NDVI

Para este año se obtuvieron 4 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 15 de enero existe o se logra apreciar un índice máximo de 0,270148 en el sector de Tumbaco, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Belisario el día 10 de julio con un índice de 0,025496.

5.1.7.3. 2015 NDVI

Para este año se obtuvieron 3 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 23 de marzo existe o se logra apreciar un índice máximo de 0,257027 en el sector de Guamaní, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Carapungo el día 23 de marzo con un índice de 0,006218.

5.1.7.4. 2016 NDVI

Para este año se obtuvieron 3 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 22 de diciembre existe o se logra apreciar un índice máximo de 0,225453 en el sector de Tumbaco, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Cotocollao el día 19 de octubre con un índice de 0,023622.

5.1.7.5. 2017 NDVI

Para este año se obtuvieron 3 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 20 de septiembre existe o se logra apreciar un índice máximo de 0,227414 en el sector de Tumbaco, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Cotocollao el día 3 de agosto con un índice de 0,02853.

5.1.7.6. 2018 NDVI

Para este año se obtuvieron 3 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 5 de julio existe o se logra apreciar un índice máximo de 0,241186 en el sector de Tumbaco, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Centro el día 6 de agosto con un índice de 0,037796.

5.1.7.7. 2019 NDVI

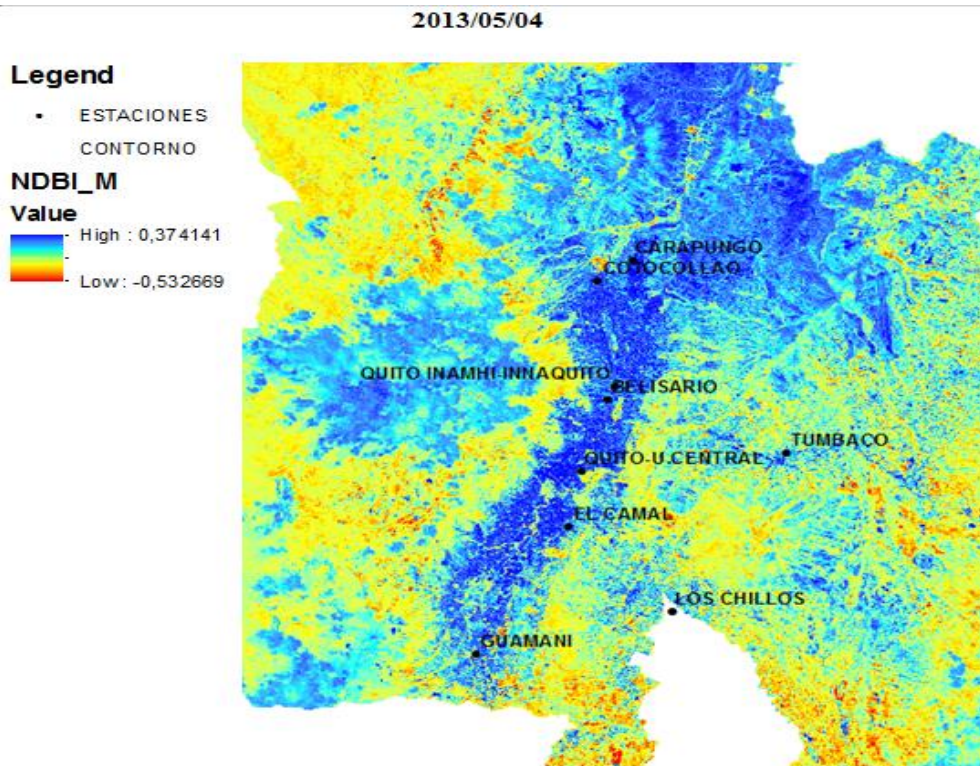
Para este año se obtuvieron 3 imágenes satelitales en las cuales se obtuvo que para el día 22 de diciembre existe o se logra apreciar un índice máximo de 0,182243 en el sector de Tumbaco, por el contrario, el menor valor se registró en el sector de Cotocollao el día 9 de agosto con un índice de 0,021832.

5.1.8. Caracterización del Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones

Para el cálculo del índice de diferencia normalizada de construcción se utilizaron las bandas 5 y 6 de las imágenes satelitales. Se realiza una comparación del año 2013 con el año 2019 en el cual se puede ver la diferencia que existe entre este lapso de tiempo, observando un incremento significativo de las construcciones en el DMQ. Además, se puede deducir de estas imágenes haciendo una comparación de LST y NDBI que existe una correlación, mientras el número de construcciones es mayor se produce un incremento de la temperatura superficial terrestre, existiendo una mayor concentración de calor, tomando en cuenta que en la mancha urbana siempre se visualiza una mayor temperatura superficial.

Figura 22.

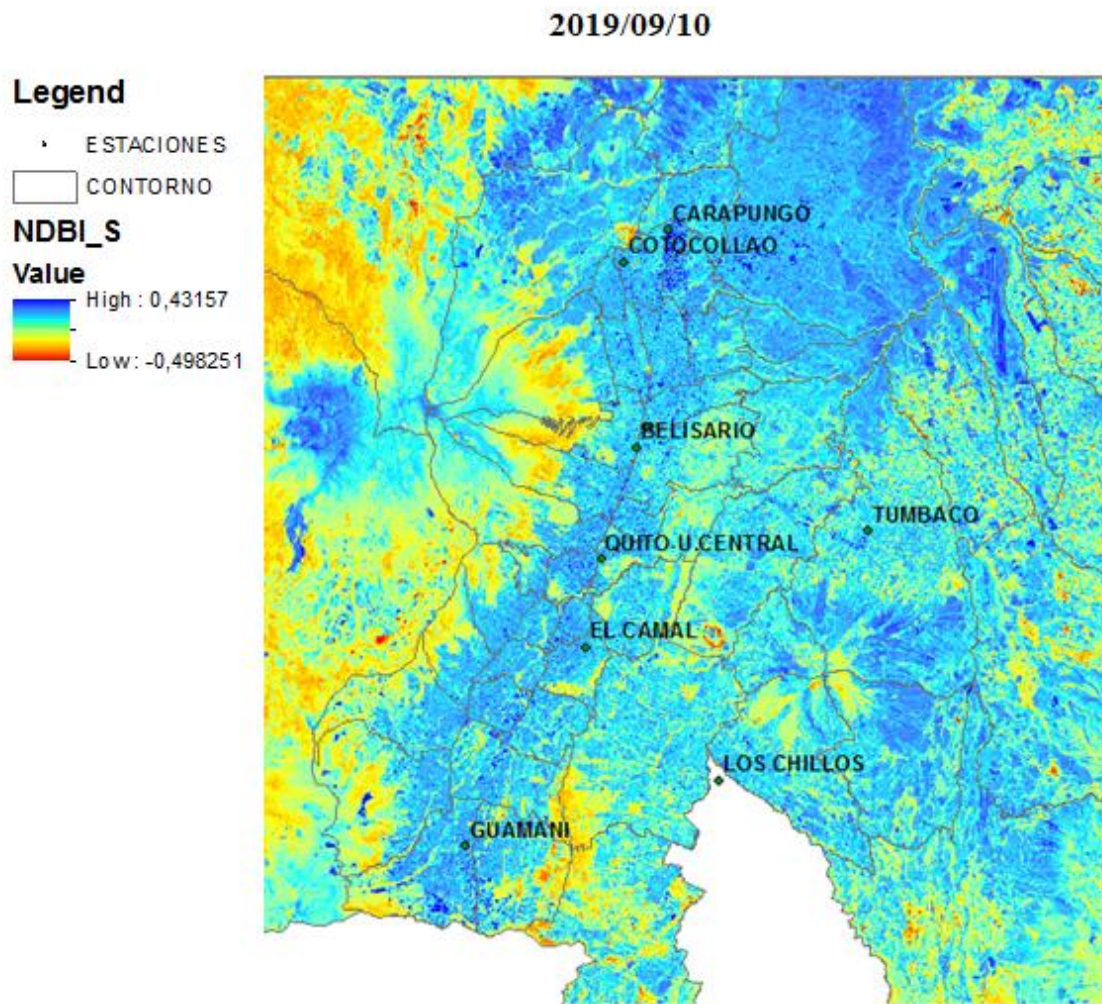
Mapa del 2013 del NDBI



Nota. La imagen muestra el NDVI en el año 2014. Elaborado por: Lozada V. (2020)

Figura 23.

Mapa del 2019 del NDBI



Nota. La imagen muestra el NDVI en el año 2019. Elaborado por: Lozada V. (2020)

En la figura 22 y la figura 23 se muestran los mapas del Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones del 2013 y el 2019 respectivamente las figuras muestran solo el sector central del DMQ y en esta zona se presenta para el año 2013 un valor máximo de 0.374141, para el 2019 un valor de máximo de 0.43157 existiendo un aumento de este índice en 0.057429. De manera

visual en los mapas se puede observar cómo existe un crecimiento de las zonas impermeables (color azul).

5.2. Discusión

Mediante los datos obtenidos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, se puede observar que en las imágenes de las estaciones Tumbaco el día 15 de enero del 2014, Guamaní el día 23 de marzo y Tumbaco el 4 de mayo del 2013 existe un mayor valor de NDVI y existe una mayor distribución de este índice, esto se debe a la temporada invernal un ejemplo claro de esto es la imagen ya mencionada de la estación de Guamaní, en la cual existe un mayor reverdecimiento. Sin embargo, se logra notar en los valores obtenidos y en las imágenes que existe una disminución de este índice al observar y comparar las imágenes del 2013 y el 2019. Al comparar la información obtenida en esta investigación con la de (García, 2018), se obtienen resultados similares al observarse un menor índice en la ciudad de Guayaquil en el periodo 2015-2017.

Para el Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones, claramente se puede observar un crecimiento en la cantidad de construcciones en todo el Distrito Metropolitano de Quito teniendo en comparación los años 2013 y 2019 en los cuales se tiene los valores de 0.374141 y 0.43157 para cada año respectivamente demostrando un aumento de 0.162549 en este índice y esto va asociado a la disminución del NDVI, según (Baño , 2017) en el DMQ del año 2004 al 2014 se registró un aumento considerable de las construcciones asociando a esto las islas de calor urbano.

Se puede observar claramente en los valores e imágenes satelitales obtenidas del DMQ, que la temperatura superficial terrestre es variable debido a la época del año en la cual se obtuvo la imagen satelital no obstante la variabilidad de temperatura va en incremento en la mayoría de los

años y más aún en lugares en los cuales se registran mayores densidades de construcciones. Teniendo visualmente intensidades de calor distribuidas uniformemente en toda la ciudad.

Como se había menciona el área de estudio tiene características variables, a lo largo de la misma en cuanto al comportamiento espectral, las zonas de uso de suelo y pisos climáticos, esto implica que la utilización de un coeficiente de correlación de LST y las estaciones meteorológicas, existe una correlación baja sin embargo si hay una correlación directa entre la temperatura obtenida mediante las imágenes satelitales y la obtenida en las estaciones meteorológicas., según (Baño , 2017) en la ciudad de Guayaquil “se determinó que no existe correlación entre la temperatura superficial terrestre y temperatura del aire, se presentaron valores bajos de relación entre estos para todas las fechas y para la mayoría de las estaciones”.

En el sector Sur y Centro Sur de la ciudad de Quito se observa que existe de manera reiterada en todos los años intensidades de calor permanentes, además al comparar datos en esta zona se obtiene un descenso leve de NDVI.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Las imágenes satelitales y los datos que aportan estas brindan ventajas considerables de manera temporal y espacial de varios fenómenos, en este caso se obtuvieron 26 imágenes satelitales Landsat 8 de 7 años, para obtener LST, NDVI y NDBI.
- Los valores más bajos de NDVI se obtuvieron en los años 2013, 2015 y 2019, los cuales se ubican en zonas donde la densidad urbana predomina.
- Los valores más altos de LST se obtuvieron en el 2015 y el 2019 con valores de entre máximos de 38°C a 40°C, concluyendo así que existe un notable incremento de la temperatura en el lapso 2013-2019.
- Se establece una diferencia de más de 2°C entre el año 2013 y el año 2019, esto se puede apreciar en las tablas de LST adjuntas en el anexo 1.
- Se puede observar de manera gráfica y en los datos obtenidos que la configuración urbana que existe en el DMQ, además del crecimiento urbano y la sustitución de áreas verdes por vías adoquinadas, asfaltadas y construcciones, ha hecho comprobable un incremento en la temperatura de estas zonas, al contrario de las de mayor índice de vegetación, como es el caso del sector de Tumbaco en el cual se presentan menores temperaturas en los años 2013 y 2014 y mayor índice de vegetación en los años 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 y 2019. Donde para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 Tumbaco presenta temperaturas situadas entre las 3 menores del DMQ.
- Se realizó un análisis estadístico entre la temperatura superficial terrestre obtenida en las imágenes satelitales y la temperatura obtenida en las estaciones meteorológicas,

concluyendo mediante el análisis de correlación de Pearson que existe una correlación directa entre estas.

- El Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones nos muestra una gran diferencia entre el 2013 y el 2019 existiendo un notable aporte a las islas de calor esto debido a que en la “mancha urbana” se observa de manera permanente intensidades de calor durante todos los días donde se obtuvieron las imágenes.
- De manera general al observar los mapas de calor generados de todo el DMQ mediante la distribución espacial de la temperatura superficial terrestre, se tiene la presencia de islas de calor en el Sur, Centro Sur y Norte. La periferia del DMQ presenta valores menores de temperatura debido a que existe menor cantidad de construcciones.

6.2. Recomendaciones

- Para la selección de imágenes satelitales se debe tomar en cuenta fenómenos previos sucedidos en el área de estudio, para poder obtener variables reales y evitar la inclusión de valores que alteren los resultados.
- Para el presente estudio se tomaron 26 diferentes imágenes satelitales de distintos meses y por ende de diferentes épocas del año, por lo cual se recomienda obtener imágenes de la misma época el año o a su vez de la época de verano, donde se puede observar de mejor manera el incremento de temperatura.
- Se recomienda tener conocimiento previo y amplio de las condiciones climáticas, suelo, uso de suelo y factores de influencia del entorno.
- Para obtener resultados más cercanos a la realidad se recomienda descargar las imágenes con la mejor resolución que se tenga en el sitio de descarga.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Veguillas, J. (2016). Obtenido de CÁLCULO DE LA EMISIVIDAD EFECTIVA EN CAVIDADES DE CUERPO NEGRO CILÍNDRICAS CÓNICAS Y CILINDRO-CÓNICASCÓNICAS Y CILINDRO-CÓNICAS MODELOS Y APLICACIONES A LA TERMOMETRÍA DE RADIACIÓN :
<http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/22111/Tesis1193-170117.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Acevedo , B. (2017). Uso de técnicas de percepción remota para la estimación de temperatura superficial en proyectos forestales del centro de Entre Ríos. *Concordia*, 59.
- Aguilera, H. (2018). *Análisis comparativo del índice de vegetación de diferencia normalizada para ARCGIS y PCI GEOMÁTICA en una imagen satelital landsat-7*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17670>
- ArcMap. (2016). *Pirámides ráster*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/raster-pyramids.htm>
- Ariza, A. (2013). *Productos LDCM-Landsat 8*. Obtenido de https://www.academia.edu/26859574/Descripci%C3%B3n_y_Correcci%C3%B3n_de_Productos_Landsat_8_LDCM_Landsat_Data_Continuity_Mission
- Atlas Ambiental . (s.f.). *EL CLIMA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE*. Obtenido de *ATLAS AMBIENTAL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO:*

https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC2AC1_atlas_ambiental_dmq_clima.pdf

Baño , D. (2017). *ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA*. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2144>

Bomberos , Q. (2018). *PLAN DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA A INCENDIOS FORESTALES DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO 2018*. Obtenido de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Comisiones%20del%20Concejo/Ambiente/2018/2018-10-16/Presentaci%C3%B3n%20Cuerpo%20de%20Bomberos/181015%20PPTT%20Plan%20de%20Prevenci%C3%B3n%20y%20Respuesta%20a%20Incendios%20Forestales%202018.pdf

Chuvieco , E. (2008). *Teledetección Ambiental* . Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=aKsNXCVcTcQC&printsec=frontcover&dq=teledeteccion+ambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjI46K6w-bmAhVFrVkKHfqrBQgQ6AEILjAB#v=onepage&q&f=true>

CONAE. (2016). *Índices Espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 8 Sensor OLI, Guía de Usuario*. Obtenido de <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/Docs/IndicesEspectralesDerivadosDeLandsat8.pdf>

Copernicus Europe's on Earth . (2017). *CORINE Land Cover (CLC)*. Obtenido de <https://land.copernicus.eu/user-corner/publications/clc-flyer/view>

- Córdova , K. (2010). *IMPACTOS DE LAS ISLAS TÉRMICAS O ISLAS DE CALOR URBANO, EN EL AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA, ANÁLISIS ESTACIONAL COMPARATIVO: CARACAS, OCTUBRE-2009, MARZO-2010.* Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/721/72121706005.pdf>
- Earth Observatory. (2019). *Landsat in Memory of the World Register.* Obtenido de <https://earthobservatory.nasa.gov/images/76484/landsat-in-memory-of-the-world-register>
- EcuadorEC. (2018). *¿Cuáles son las parroquias de Quito? Urbanas y Rurales.* Obtenido de <https://ecuadorec.com/parroquias-quito-urbanas-rurales/>
- Eixo Atlántico . (2008). <https://www.yumpu.com/es/document/read/49122231/ultimo-km-en-las-ciudades-del-eixo-atlantico-eixo-atlantico>.
- EPA . (2016). *Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos .* Obtenido de *Desarrollo Inteligente e Islas Urbanas de Calor :* <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/smartgrowthspanish.pdf>
- García, G. (2018). *La isla de calor en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, mediante Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.* Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35564>
- Gobierno Provincial de Pichincha . (2002). *Distrito Metropolitano de Quito .* Obtenido de <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito>
- Goñi, L. (2016). Análisis del crecimiento edilicio mediante imágenes Landsat en la localidad de Monte Hermoso, Argentina. . *ENIA*, 2.

- INEC. (2019). *Censo de población y vivienda 2010. Ecuador en cifras*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- Laguna , C. (2014). *CORRELACIÓN Y REGRESIÓN LINEAL*. Obtenido de <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T04.pdf>
- Moreno , A. (2008). *Sistemas y Analisis de la Informacion Geografica Manual de Autoaprendizaje con Arcgis*. Mexico DF: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR ,S.A. DE C.V.
- Municipio de Quito . (2012). *Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012-2022*. Obtenido de https://www.quito.gob.ec/documents/rendicion_cuentas2015/AZD/plan_de_ordenamiento_2012_2022.pdf
- Naciones Unidas . (2016). *Nueva Agenda Urbana Habitat III* . Obtenido de <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- Oke, T. (1994). *The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/281364715_The_Heat_Island_of_the_Urban_Boundary_Layer_Characteristics_Causes_and_Effects
- Pineda, O. (2011). *ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE CHILE*. Obtenido de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>

- Pulpeiro, L. (2003). *ENTRE PÍXELES, LA IMAGEN DIGITAL* . Obtenido de https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual2/pluginfile.php/24817/mod_resource/content/0/3/presentacion_entre_pixeles.pdf
- Rodriguez, O., & Arredondo , H. (2005). *MANUAL PARA EL MANEJO Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES OBTENIDAS DEL SENSOR REMOTO MODIS DE LA NASA, APLICADO EN ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL* . Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>
- Romero , H., & Salgado , M. (2010). *Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-83582010000300005
- Secretaría de Ambiente Quito. (2020). *Calidad Ambiente*. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/indice-de-calidad-del-aire-2>
- Secretaría de Gestión de Riesgos . (2018). *Informe de Situación - Incendios Forestales a nivel nacional 2018* . Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/SITREP-5-Informe-de-Situaci%C3%B3n-SGR-2018-031008.pdf>
- Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda . (2012). *PLAN METROPOLITANO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Obtenido de https://www.quito.gob.ec/documents/rendicion_cuentas/AZC/Articulacion_politicas_publicas/PLAN_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL2012.pdf

- Sitjar, J., & Busquets, A. (2015). *Taller de Teledetección*. Obtenido de <https://sigte-tallerjornadas2015.readthedocs.io/es/latest/>
- The Landscape Toolbox. (2007). *Normalized Difference Vegetation Index*. Obtenido de https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:normalized_difference_vegetation_index
- Trujillo, S. (2012). *ESTIMACIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL EN EL VALLE DE ABURRÁ MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA*. Obtenido de https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/409/7/TrujilloSantiago_2012_EstimacionTemperaturaSuperficial.pdf
- USGS. (2013). *Servicio Geológico de los Estados Unidos*. Obtenido de https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Yates, D. (2013). *Distrito Metropolitano de Quito: Análisis Integrado de Amenazas Relacionada con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos*. Obtenido de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/phocadownload/cambio_climatico/Proyectos/wp1_analisis_clima_dmq.pdf

8. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales por día y por estación meteorológicas.

04/05/2013

21/06/2013

Nombre	dmq_ndvi	lst_dmq
Carapungo	0,208847	25,1322
Cotocollao	0,037592	27,0462
Jipijapa	0,046709	25,3154
Belisario	0,055354	25,4436
Tumbaco	0,256003	24,7294
Centro	0,037161	25,3605
El Camal	0,170229	21,714
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,221808	23,8597

Nombre	NDVI_Clip	LST_Clip
Carapungo	0,166735	29,7338
Cotocollao	0,056886	27,9929
Jipijapa	0,062405	27,231
Belisario	0,043591	28,2458
Tumbaco	0,049443	30,5829
Centro	0,196583	27,8672
El Camal	0,208985	26,3746
Los Chillos	0,178941	25,4363
Guamaní	-9999	-9999

07/07/2013		
Nombre	NDVI_DMQ	LST_Clip1
Carapungo	0,150176	32,0633
Cotocollao	0,010289	28,8009
Jipijapa	0,06669	27,2894
Belisario	0,026934	28,5029
Tumbaco	0,223364	27,1957
Centro	0,047961	30,109
El Camal	0,16596	25,0228
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,201031	25,2749

25/09/2013		
Nombre	NDVI_DMQ	LST_Clip2
Carapungo	0,102204	35,7608
Cotocollao	0,008866	33,0188
Jipijapa	0,074652	33,2304
Belisario	0,047161	33,7548
Tumbaco	0,211466	32,9604
Centro	0,06344	34,5548
El Camal	0,155866	30,773
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,120739	26,8231

11/10/2013		
Nombre	NDVI_DMQ	LST_Clip3
Carapungo	0,117773	25,9096
Cotocollao	0,039861	26,1269
Jipijapa	0,076239	21,0233
Belisario	0,059683	20,5343
Tumbaco	0,16463	8,03449
Centro	0,087966	18,3016
El Camal	0,155393	13,3451
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,174893	10,8497

28/11/2013		
Nombre	NDVI_DMQ	LST_DMQ
Carapungo	0,185706	32,1682
Cotocollao	0,056342	29,7609
Jipijapa	0,065268	29,6556
Belisario	0,041009	29,0447
Tumbaco	0,212161	31,9997
Centro	0,045579	31,8222
El Camal	0,164198	26,1999
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,197723	29,676

14/12/2013		
Nombre	NDVI_DMQ	LST_DMQ
Carapungo	0,129969	25,3624
Cotocollao	0,02654	26,6706

Jipijapa	0,090823	28,7887
Belisario	0,040969	30,646
Tumbaco	0,244769	30,2359
Centro	0,062663	29,7243
El Camal	0,150851	22,6872
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,196276	25,9308

15/01/2014		
Nombre	NDVI_DMQ	LST_DMQ
Carapungo	0,165991	26,4895
Cotocollao	0,045899	25,8813
Jipijapa	0,053787	27,5083
Belisario	0,04416	28,1224
Tumbaco	0,270148	28,0455
Centro	0,062313	28,4098
El Camal	0,174713	22,6386
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,233359	24,3681

26/07/2014		
Nombre	NDVI_DMQ_2	LTS_DMQ
Carapungo	0,108509	27,5526
Cotocollao	0,030904	28,5602
Jipijapa	0,072859	24,7173
Belisario	0,035375	24,6457
Tumbaco	0,157566	19,1418
Centro	0,0629	28,4098
El Camal	0,122059	23,8931
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,201707	28,164

23/03/2015		
Nombre	NDVI_DMQ_4	LST_DMQ1

10/07/2014		
Nombre	NDVI_DMQ_1	LST_DMQ_1
Carapungo	0,144857	29,846
Cotocollao	0,033337	28,0394
Jipijapa	0,060412	28,3617
Belisario	0,025496	28,6462
Tumbaco	0,233886	28,0948
Centro	0,076272	31,3197
El Camal	0,164565	26,0753
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,233066	24,8225

30/10/2014		
Nombre	NDVI_DMQ_3	LST_DMQ_1_2
Carapungo	0,160994	28,9477
Cotocollao	0,045202	28,6872
Jipijapa	0,089158	28,011
Belisario	0,059746	28,3542
Tumbaco	0,251166	29,7286
Centro	0,071166	26,6095
El Camal	0,144589	23,597
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,194821	28,4674

11/06/2015		
Nombre	NDVI_DMQ_5	LST_DMQ_1_3

Carapungo	0,006218	18,0362
Cotocollao	0,040165	22,354
Jipijapa	0,068742	27,0457
Belisario	0,062536	26,64
Tumbaco	0,238737	26,8182
Centro	0,059287	28,941
El Camal	0,159176	24,5284
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,257027	24,7314

Carapungo	0,139757	32,0641
Cotocollao	0,038803	29,2813
Jipijapa	0,053617	29,21
Belisario	0,051148	29,5922
Tumbaco	0,224	25,1309
Centro	0,037833	30,3532
El Camal	0,187887	24,9737
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,118346	19,7473

15/09/2015		
Nombre	NDVI_DMQ_6	LST_DMQ_1_4
Carapungo	0,088706	40,9476
Cotocollao	0,034417	36,3829
Jipijapa	0,067892	35,7126
Belisario	0,041041	35,2005
Tumbaco	0,165884	36,6614
Centro	0,095946	38,4181
El Camal	0,110861	34,5471
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,174897	34,3529

19/10/2016		
Nombre	NDVI_DMQ_7	LST_DMQ_1_5
Carapungo	0,103503	33,3782
Cotocollao	0,023622	33,4842
Jipijapa	0,075289	34,3531
Belisario	0,053048	34,955
Tumbaco	0,223131	33,7527
Centro	0,069059	37,7557
El Camal	0,164689	29,7673
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,14138	28,1019

20/11/2016		
Nombre	NDVI_DMQ_8	LST_DMQ_1_6
Carapungo	0,112821	23,6107
Cotocollao	0,069674	28,5641
Jipijapa	0,03853	29,0006
Belisario	0,065219	28,5903
Tumbaco	0,220042	31,5257
Centro	0,079221	31,9106
El Camal	0,20201	26,6593
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,188355	29,6986

22/12/2016		
Nombre	NDVI_DMQ_9	LST_DMQ_1_7
Carapungo	0,128717	30,4285

Cotocollao	0,040465	28,0565
Jipijapa	0,072896	27,513
Belisario	0,049985	27,7514
Tumbaco	0,225453	28,9671
Centro	0,065063	30,6356
El Camal	0,058566	9,33526
Los Chillos	-9999	-9999
<u>Guamaní</u>	0,146114	25,5602

23/01/2017		
Nombre	NDVI_DM_1 0	LST_DMQ_1 8
Carapungo	0,140534	27,2814
Cotocollao	0,04945	27,9244
Jipijapa	0,045179	25,0107
Belisario	0,046224	26,5284
Tumbaco	0,200975	23,5783
Centro	0,064016	26,3071
El Camal	0,120899	14,5538
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,140283	13,1562

20/09/2017		
Nombre	NDVI_DM_1 2	LST_DMQ_2 0
Carapungo	0,102999	34,7888
Cotocollao	0,031434	32,8894
Jipijapa	0,074479	32,2849
Belisario	0,057262	32,38
Tumbaco	0,227414	33,6516
Centro	0,077987	35,4522
El Camal	0,157754	29,836
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,106282	30,0511

26/01/2018		
Nombre	NDVI_DM_1	LST_DMQ_2

03/08/2017		
Nombre	NDVI_DM_1 1	LST_DMQ_1 9
Carapungo	0,109895	34,2021
Cotocollao	0,02853	32,2269
Jipijapa	0,060498	30,8776
Belisario	0,04508	31,8222
Tumbaco	0,194994	27,5538
Centro	0,069772	34,9459
El Camal	0,167074	29,4782
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,113683	26,7976

05/07/2018		
Nombre	NDVI_DM_1	LST_DMQ_2

	3	1
Carapungo	0,157629	30,9267
Cotocollao	0,042847	28,8768
Jipijapa	0,057675	29,2742
Belisario	0,060224	30,0205
Tumbaco	0,229842	30,1194
Centro	0,066549	33,7828
El Camal	0,166129	25,7681
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,157591	26,9792

	4	2
Carapungo	0,156093	28,6213
Cotocollao	0,107899	23,1895
Jipijapa	0,075253	21,8363
Belisario	0,079528	23,7177
Tumbaco	0,241186	27,9506
Centro	0,075537	9,50463
El Camal	0,064378	3,78301
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,084138	15,4705

06/08/2018		
	NDVI_DM_1	LST_DMQ_2
Nombre	5	3
Carapungo	0,10814	29,7864
Cotocollao	0,041545	30,207
Jipijapa	0,047334	29,6467
Belisario	0,039114	29,4405
Tumbaco	0,192481	28,2193
Centro	0,037796	29,3835
El Camal	0,15566	24,7324
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,127656	23,4239

09/08/2019		
	NDVI_DM_1	LST_DMQ_2
Nombre	6	4
Carapungo	0,078515	33,6955
Cotocollao	0,021832	31,3718
Jipijapa	0,043932	30,5134
Belisario	0,049319	29,7083
Tumbaco	0,168659	31,4557
Centro	0,047788	33,4957
El Camal	0,152292	30,0156
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,12992	27,2548

25/08/2019		
	NDVI_DM_1	LST_DMQ_2
Nombre	7	5
Carapungo	0,080468	35,5497
Cotocollao	0,046698	33,1894
Jipijapa	0,049541	32,6789
Belisario	0,057493	32,3151
Tumbaco	0,182243	34,5789
Centro	0,051652	34,8594
El Camal	0,173554	30,3907
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,145229	28,4875

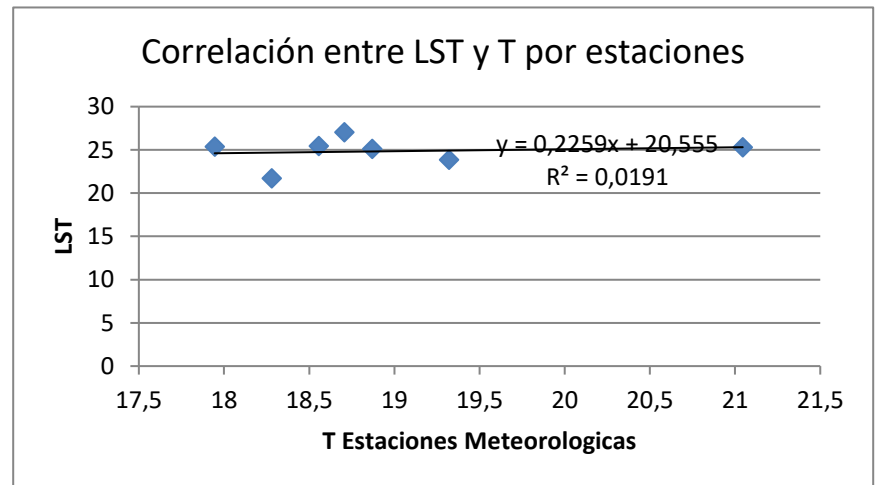
10/09/2019		
LST_DMQ_2		
Nombre	DMQ_NDVI	6
Carapungo	0,075054	37,8336
Cotocollao	0,041097	34,9459
Jipijapa	0,069175	35,3412
Belisario	0,054258	34,8139
Tumbaco	0,154622	35,5518
Centro	0,047465	38,2073
El Camal	0,150131	32,1849
Los Chillos	-9999	-9999
Guamaní	0,15296	33,0185

Anexo 2. Análisis estadístico

• 2013

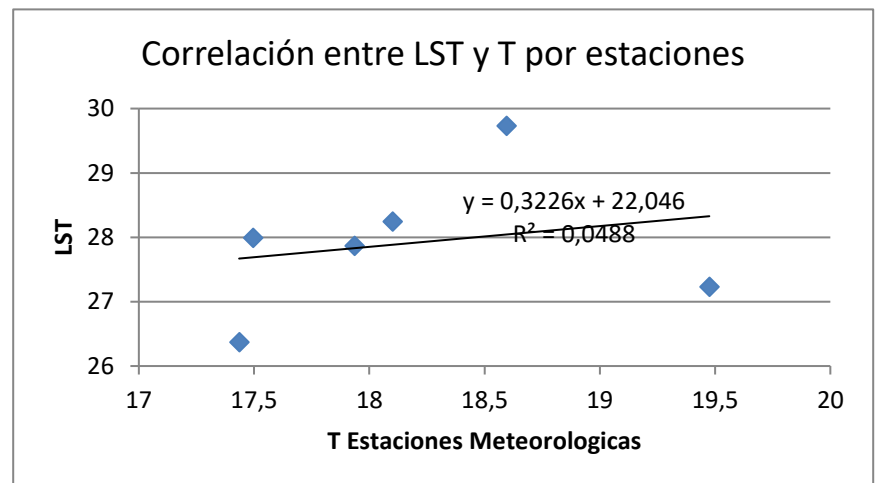
04/05/2013	
Estación Met. °C	LST °C
18,555	25,4436
18,87	25,1322
17,945	25,3605
18,705	27,0462
18,28	21,714
19,32	23,8597
21,045	25,3154

Valor r: 0.1382



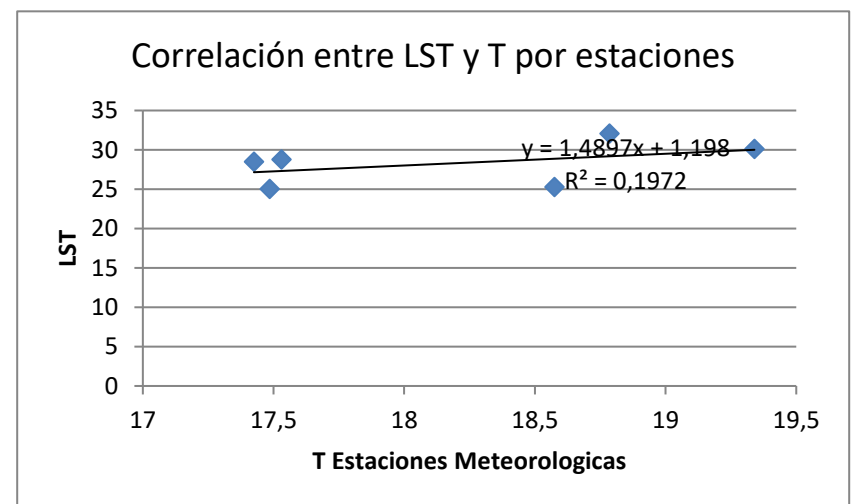
21/06/2013	
T Estación Met. °C	LST °C
18,1	28,2458
18,595	29,7338
17,935	27,8672
17,495	27,9929
17,435	26,3746
19,475	27,231

Valor r: 0.2209



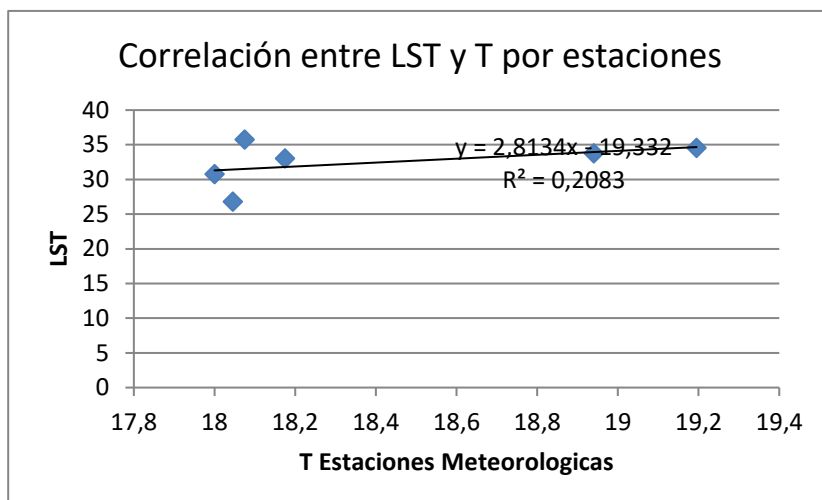
07/07/2013	
Estación Met.	LST
17,425	28,5029
18,785	32,0633
19,34	30,109
17,53	28,8009
17,485	25,0228
18,575	25,2749

Valor r: 0.4440



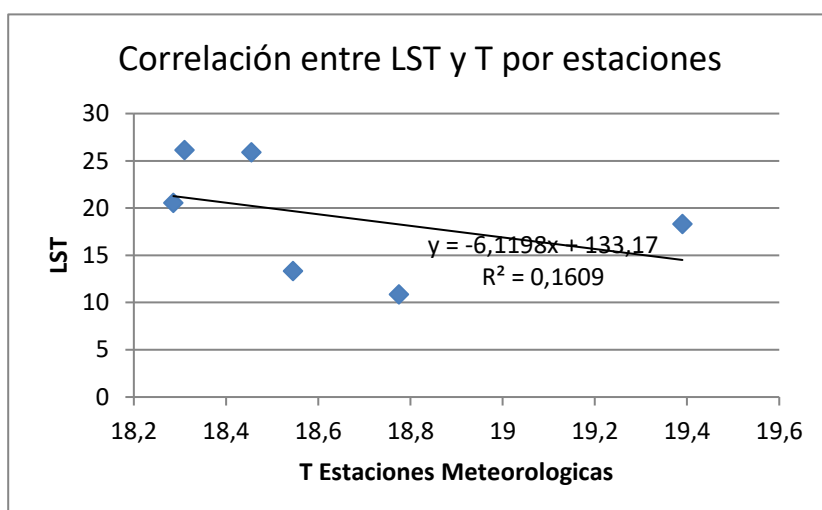
25/09/2013	
Estación Met. °C	LST °C
18,075	35,7608
18,94	33,7548
19,195	34,5548
18,175	33,0188
18	30,773
18,045	26,8231

Valor r: 0.4563



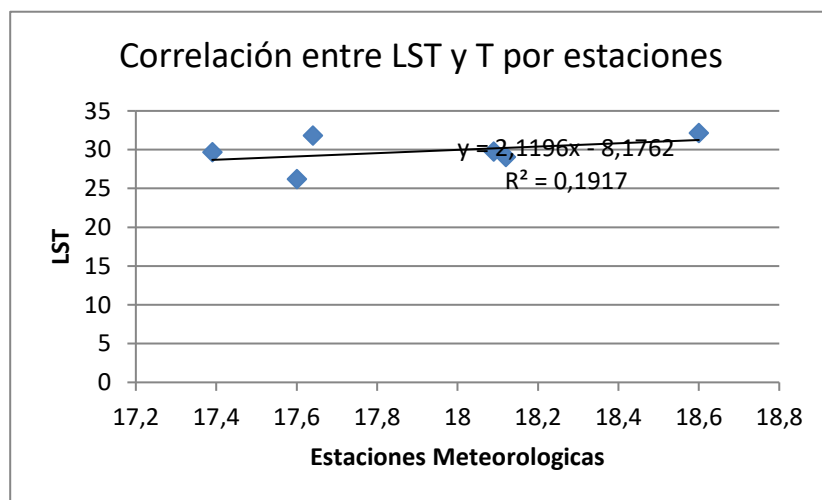
11/10/2013	
Estación Met.	LST
18,2858	20,5343
18,455	25,9096
19,39	18,3016
18,31	26,1269
18,545	13,3451
18,775	10,8497

Valor r: 0.4011



28/11/2013	
Estación Met °C	LST °C
18,12	29,0447
18,6	32,1682
17,64	31,8222
18,09	29,7609
17,6	26,1999
17,39	29,676

Valor r: 0.4378



14/12/2013	
Estación Met.	LST
18,94	30,646
18,655	25,3624
18,05	29,7243
17,55	26,6706
18,405	22,6872
18,65	25,9308

Valor r: 0.0768

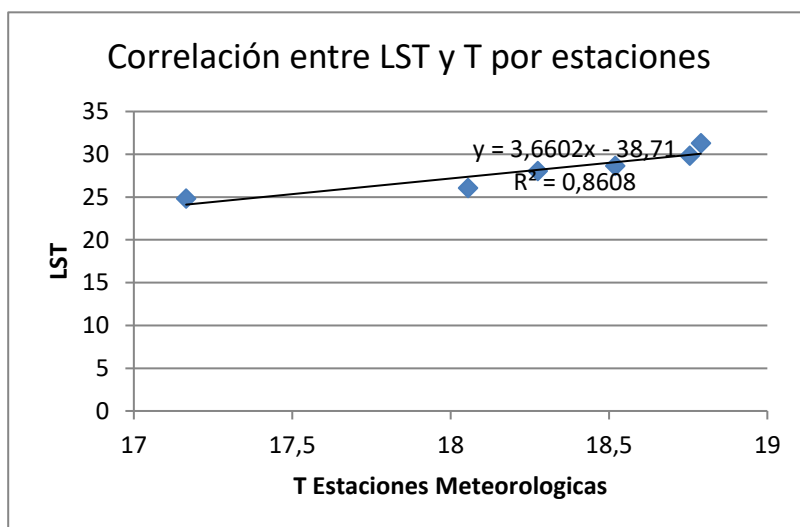
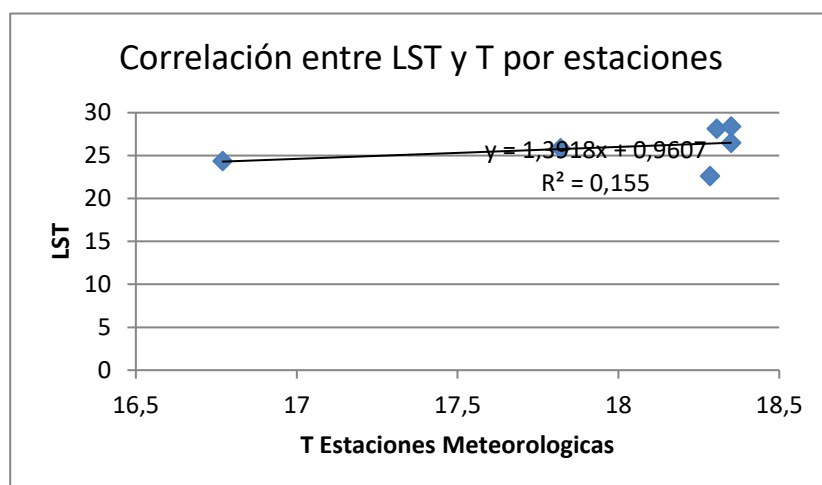
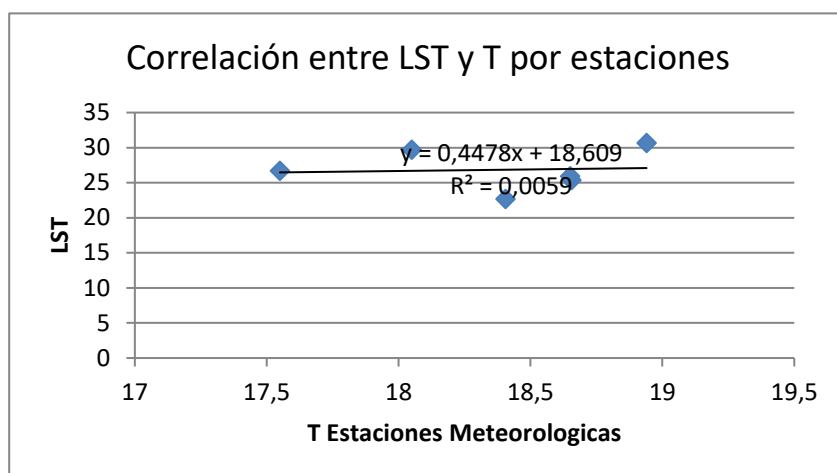
- 2014

15/01/2014	
Estación Met °C	LST °C
18,305	28,1224
18,35	26,4895
18,35	28,4098
17,82	25,8813
18,285	22,6386
16,77	24,3681

Valor r: 0.3937

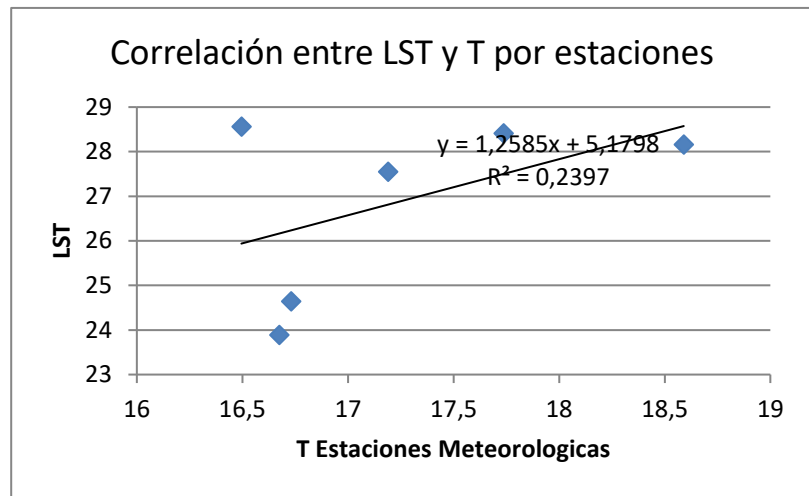
10/07/2014	
Estación Met °C	LST °C
18,52	28,6462
18,755	29,846
18,79	31,3197
18,275	28,0394
18,055	26,0753
17,165	24,8225

Valor r: 0.9277



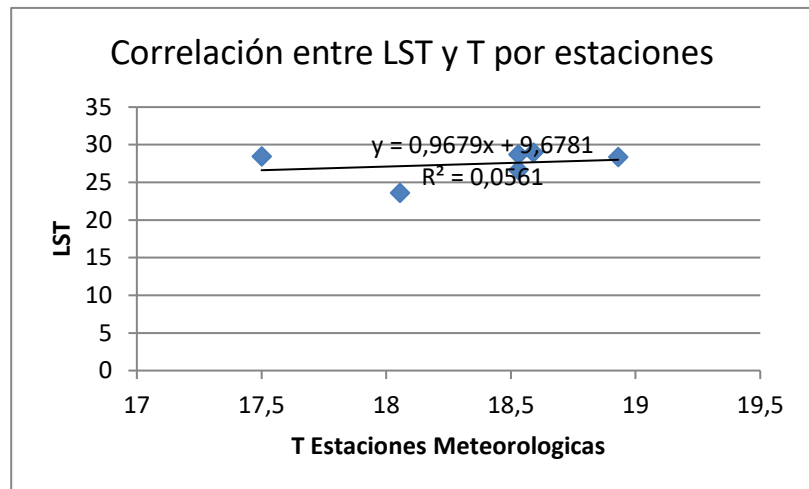
26/07/2014	
Estación Met °C	LST °C
16,73	24,6457
17,19	27,5526
17,73625	28,4098
16,495	28,5602
16,675	23,8931
18,59	28,164

Valor r: 0.4896



30/10/2014	
Estación Met °C	LST °C
18,93	28,3542
18,59	28,9477
18,53	26,6095
18,53	28,6872
18,055	23,597
17,5	28,4674

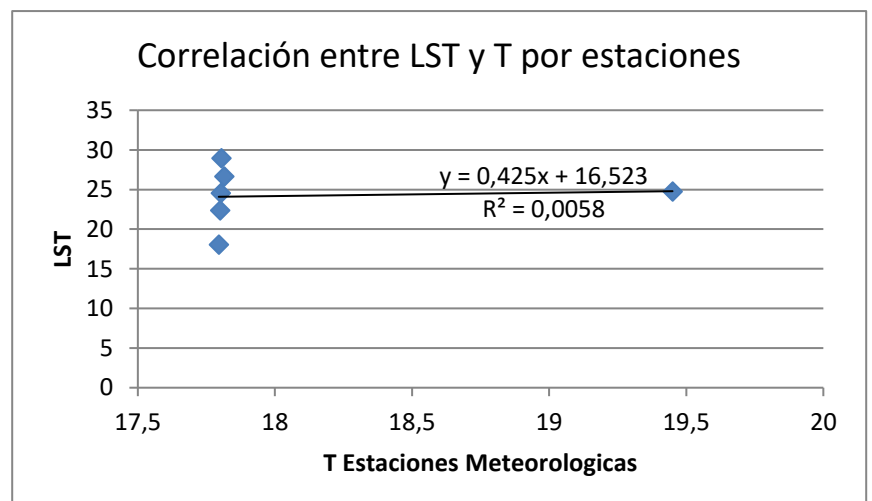
Valor r: 0.2368



• 2015

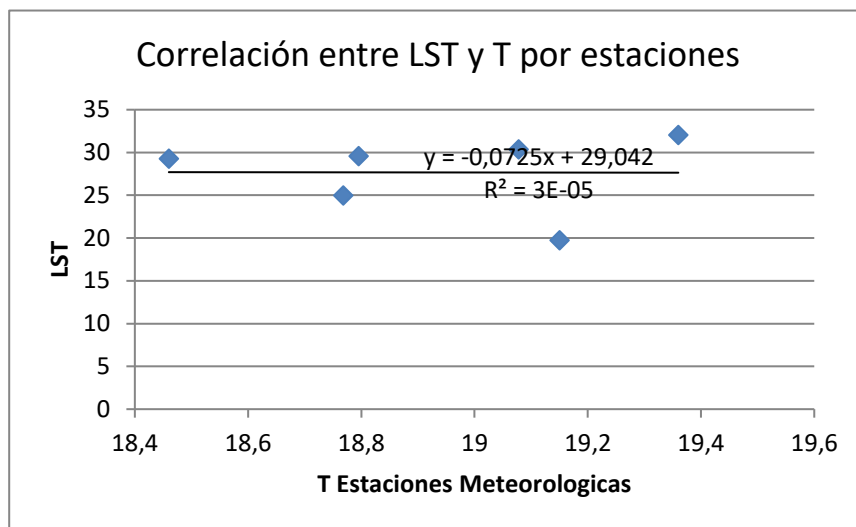
23/03/2015	
Estación Met °C	LST °C
17,795	18,0362
17,815	26,64
17,805	28,941
17,8	22,354
17,8025	24,5284
19,45	24,7314

Valor r: 0.0762



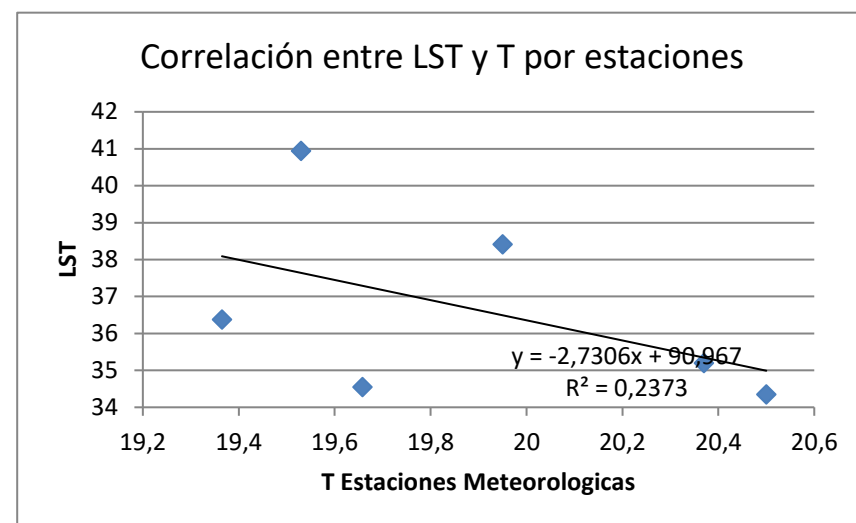
11/06/2015	
Estación Met °C	LST °C
18,795	29,5922
19,36	32,0641
19,0775	30,3532
18,46	29,2813
18,768	24,9737
19,15	19,7473

Valor r: -0,0052



15/09/2015	
Estación Met °C	LST °C
19,53	40,9476
20,37	35,2005
19,95	38,4181
19,365	36,3829
19,6575	34,5471
20,5	34,3529

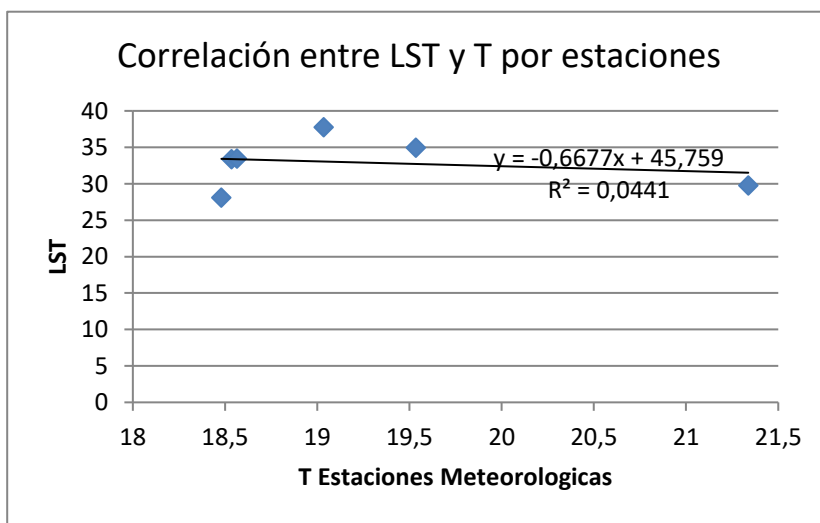
Valor r: -0,487



• 2016

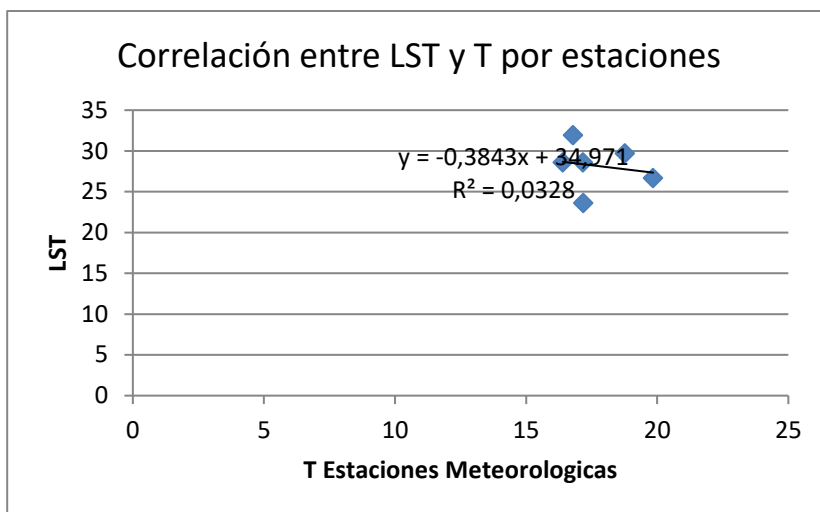
19/10/2016	
Estación Met °C	LST °C
18,535	33,3782
19,535	34,955
19,035	37,7557
18,565	33,4842
21,3375	29,7673
18,48	28,1019

Valor r: -0.21



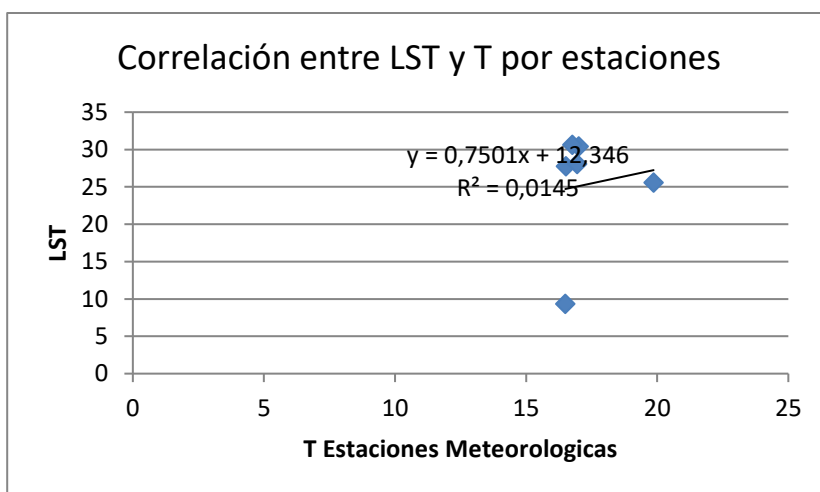
20/11/2016	
Estación Met °C	LST °C
16,4	28,5903
17,175	23,6107
16,7875	31,9106
17,16	28,5641
19,8425	26,6593
18,765	29,6986

Valor r: -0,1811



22/12/2016	
Estación Met °C	LST °C
16,52	27,7514
17,005	30,4285
16,7625	30,6356
16,94	28,0565
16,495	9,33526
19,86	25,5602

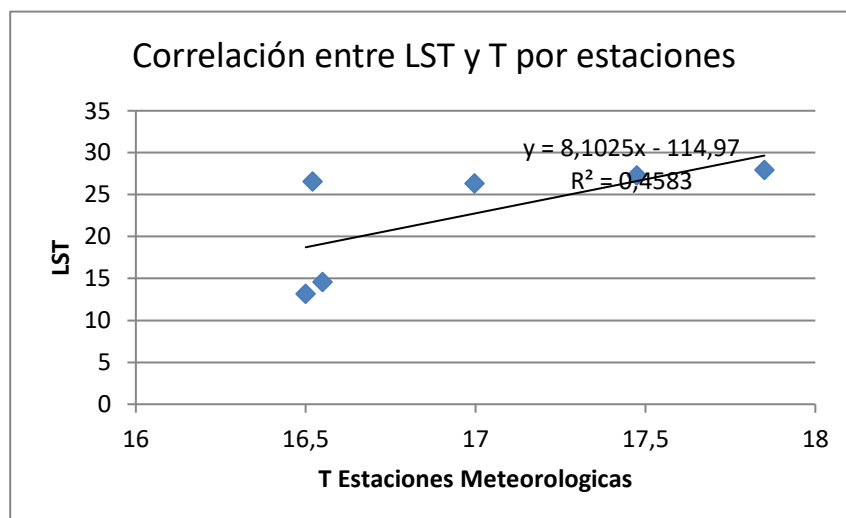
Valor r: 0.1202



• 2017

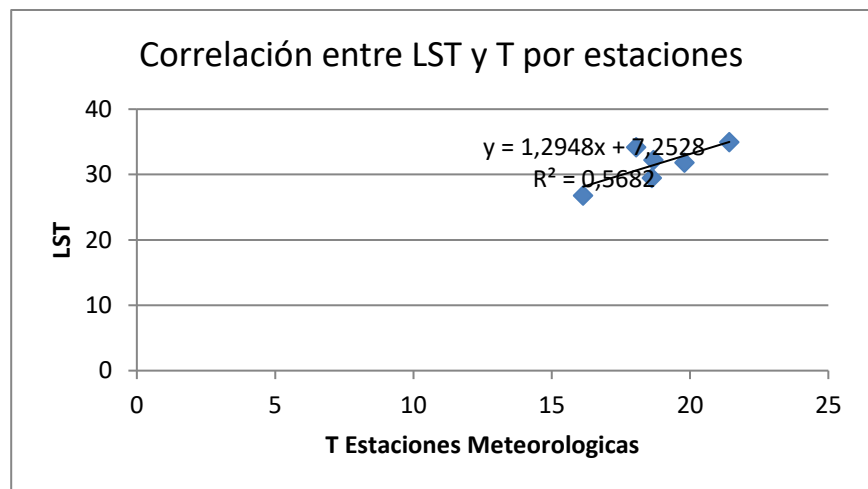
23/01/2017	
Estación Met °C	LST °C
16,52	26,5284
17,475	27,2814
16,9975	26,3071
17,85	27,9244
16,55	14,5538
16,5	13,1562

Valor : 0.677



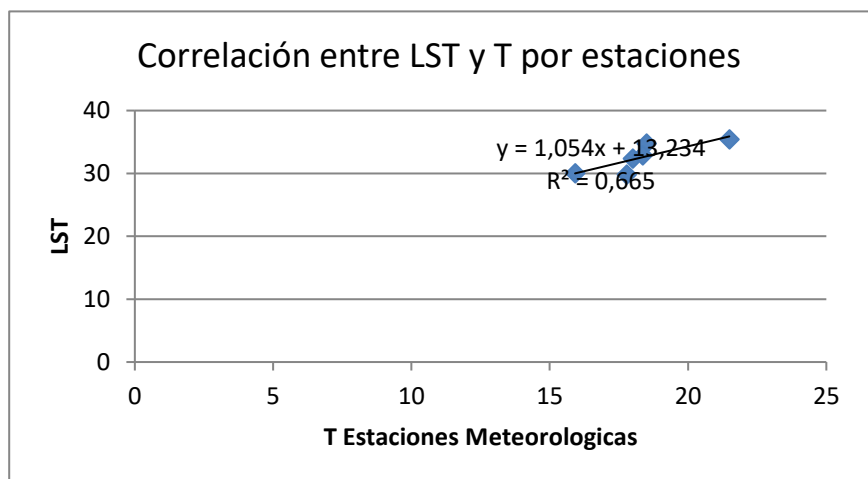
03/08/2017	
Estación Met °C	LST °C
18,06	34,2021
19,805	31,8222
21,422	34,9459
18,68	32,2269
18,62	29,4782
16,135	26,7976

Valor r: 0.754



20/09/2017	
Estación Met °C	LST °C
18	32,38
18,5	34,7888
21,4925	35,4522
18,365	32,8894
17,78	29,836
15,915	30,0511

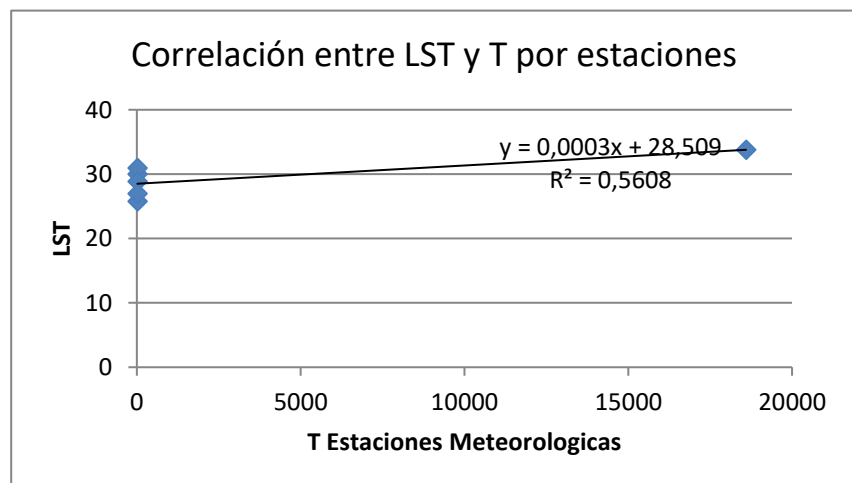
Valor r: 0.8155



• 2018

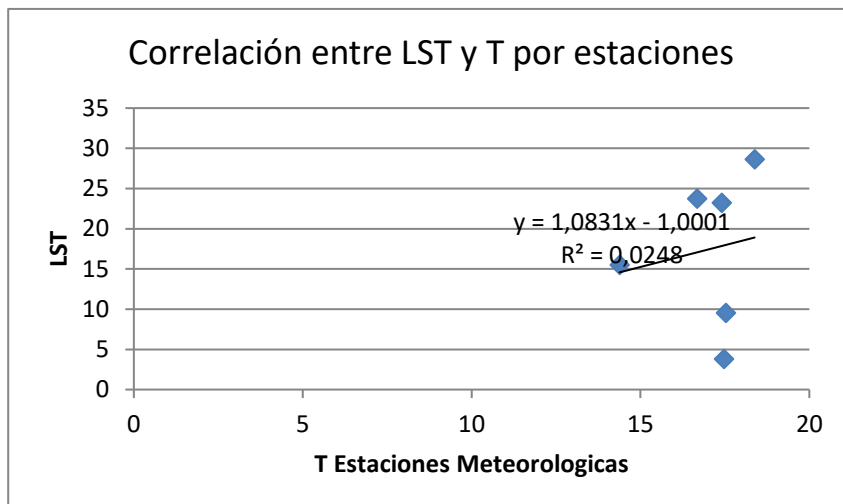
26/01/2018	
Estación Met °C	LST °C
18,31	30,0205
18,88	30,9267
18595	33,7828
18,34	28,8768
18,34	25,7681
16,81	26,9792

Valor r: 0.749



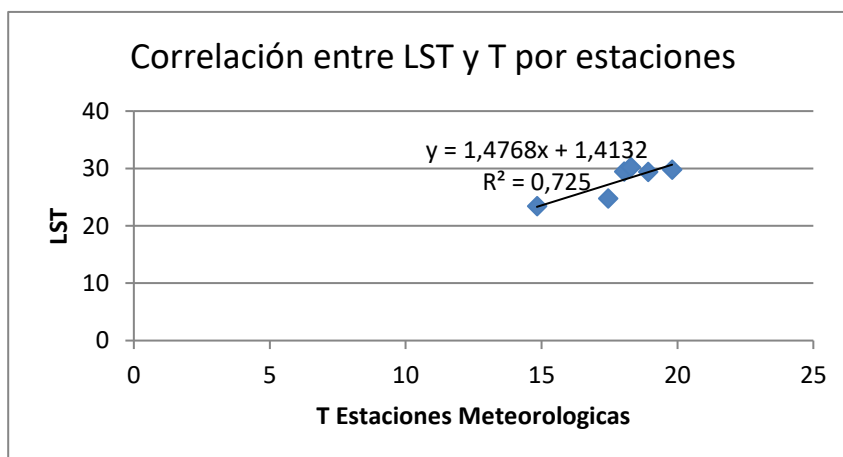
05/07/2018	
Estación Met °C	LST °C
16,67	23,7177
18,38	28,6213
17,525	9,50463
17,405	23,1895
17,465	3,78301
14,38	15,4705

Valor r: 0.158



06/08/2018	
Estación Met °C	LST °C
18,035	29,4405
19,805	29,7864
18,92	29,3835
18,28	30,207
17,45	24,7324
14,83	23,4239

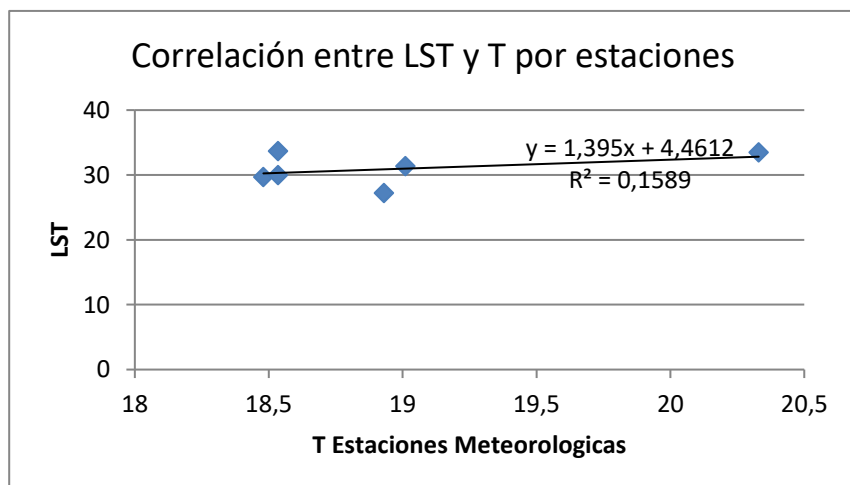
Valor r: 0.851



• 2019

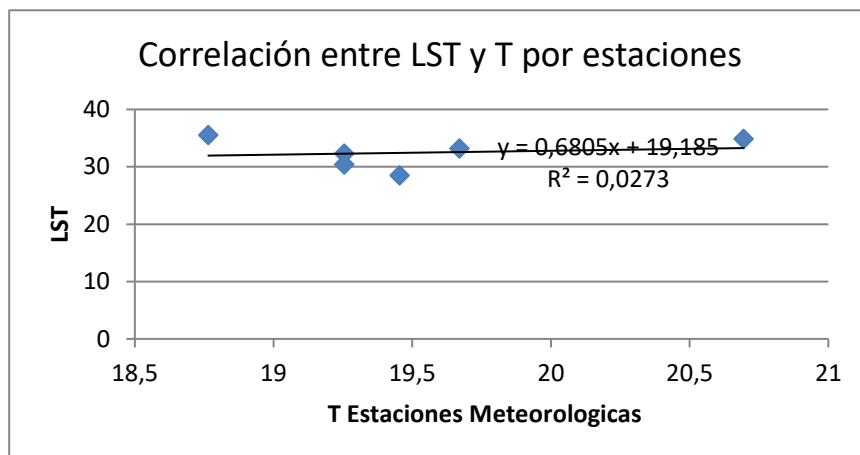
09/08/2019	
Estación Met °C	LST °C
18,535	33,6955
18,48	29,7083
20,33	33,4957
19,01	31,3718
18,535	30,0156
18,93	27,2548

Valor r: 0.399



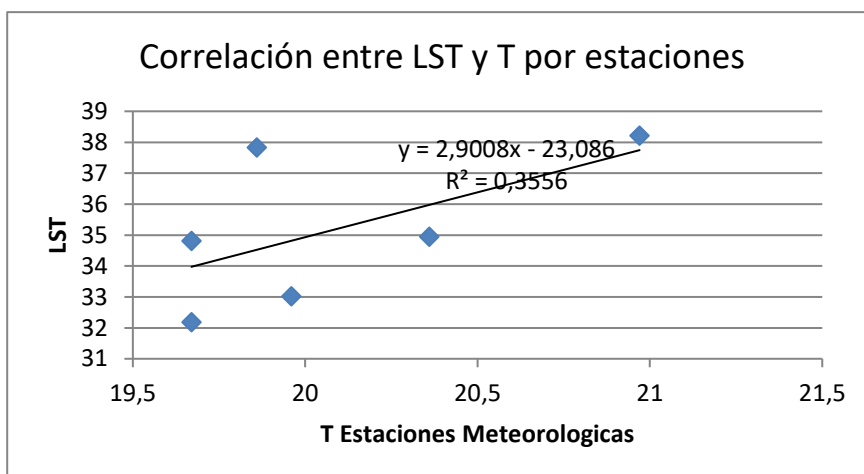
25/08/2019	
Estación Met °C	LST °C
19,255	32,3151
18,765	35,5497
20,695	34,8594
19,67	33,1894
19,255	30,3907
19,455	28,4875

Valor r: 0.165



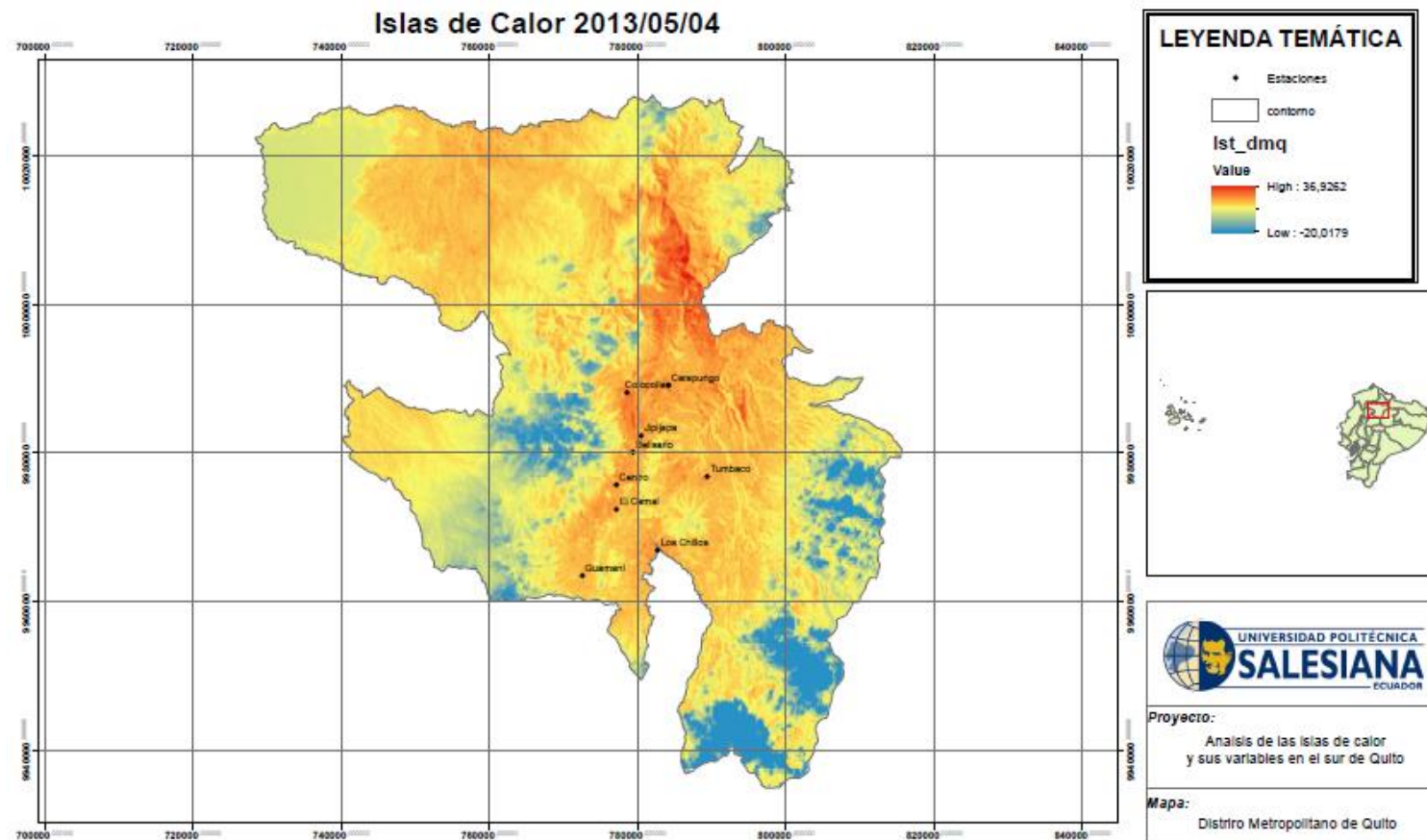
10/09/2019	
Estación Met °C	LST °C
19,67	34,8139
19,86	37,8336
20,97	38,2073
20,36	34,9459
19,67	32,1849
19,96	33,0185

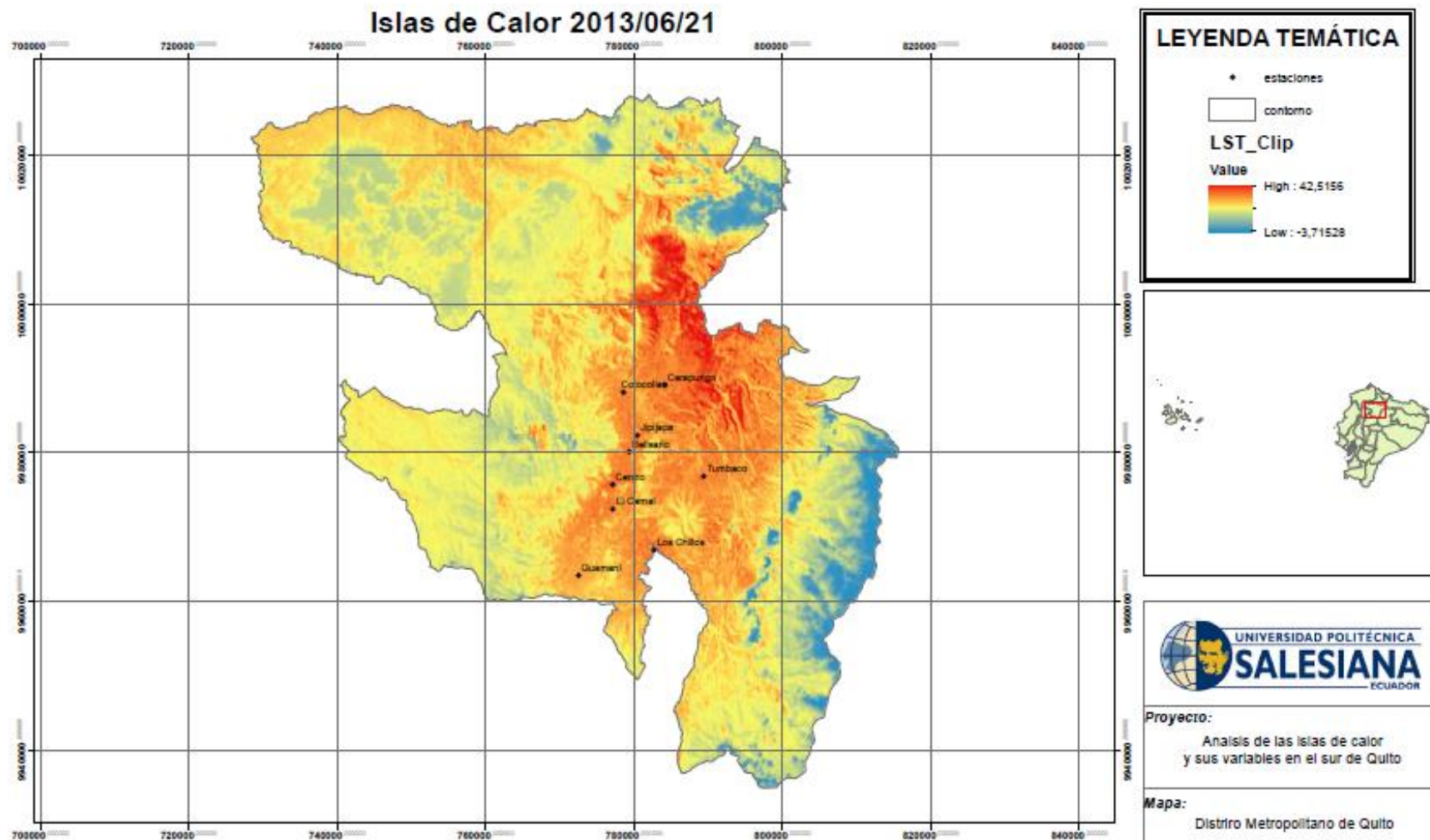
Valor r: 0.596

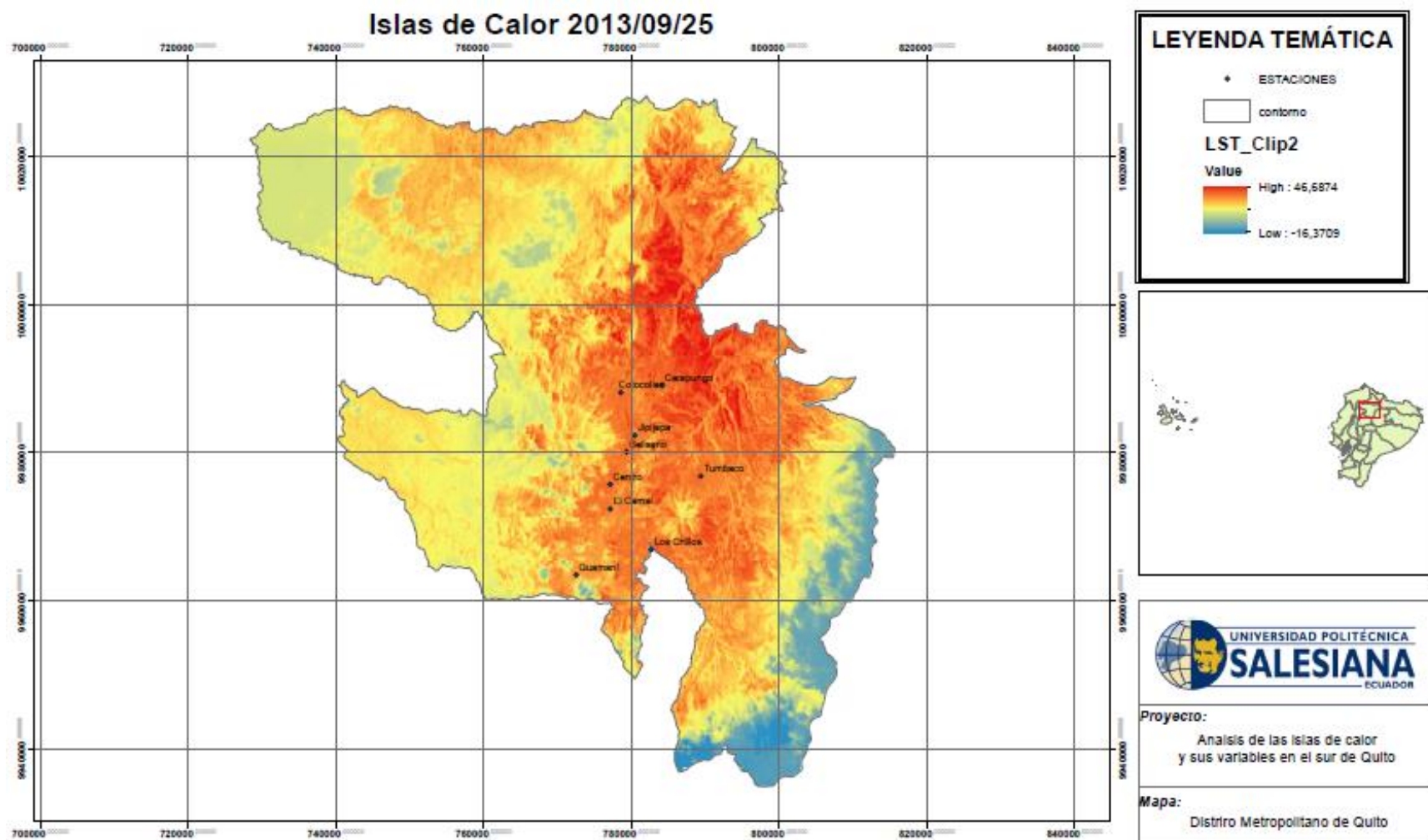


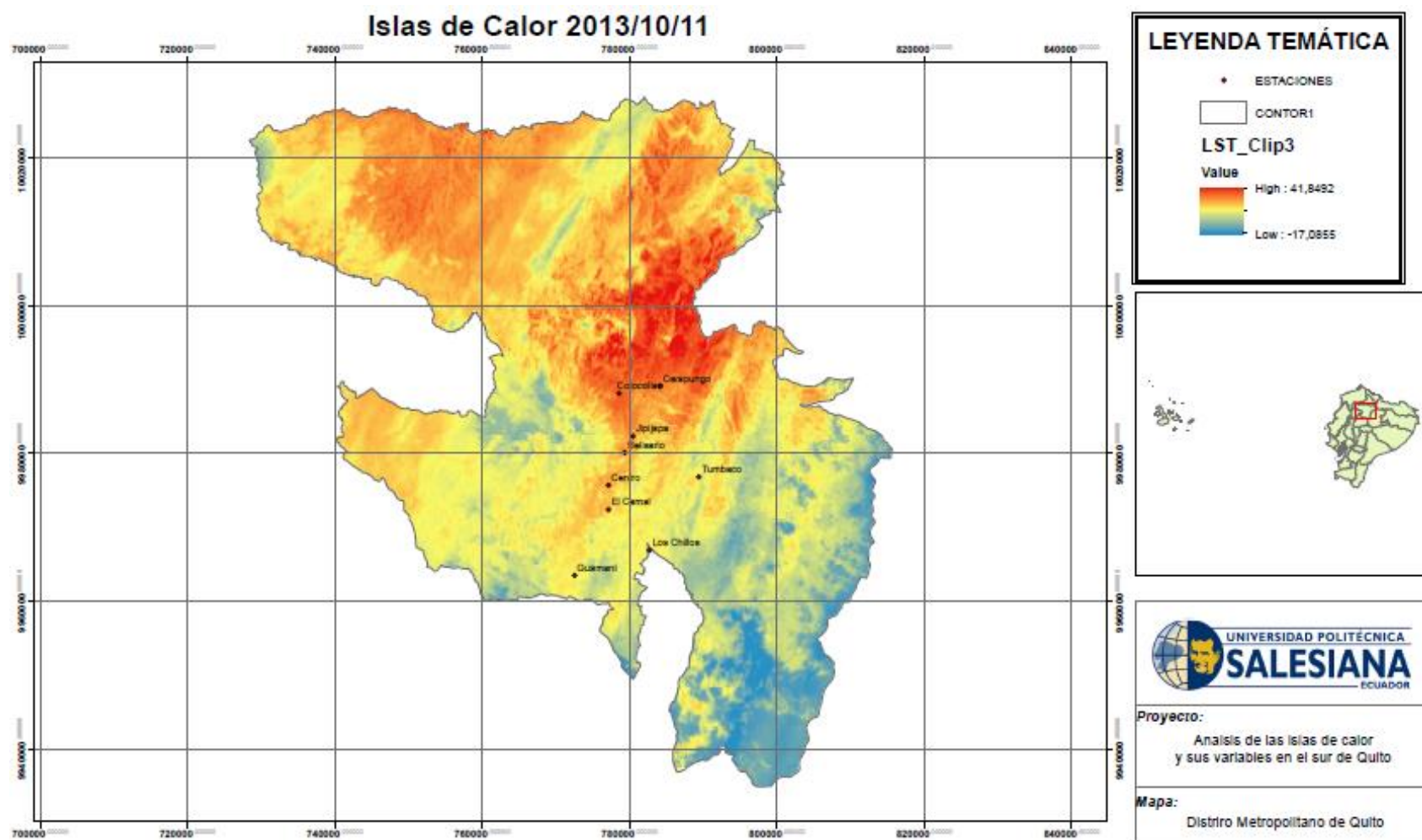
Anexo 3. Cartografía resultante

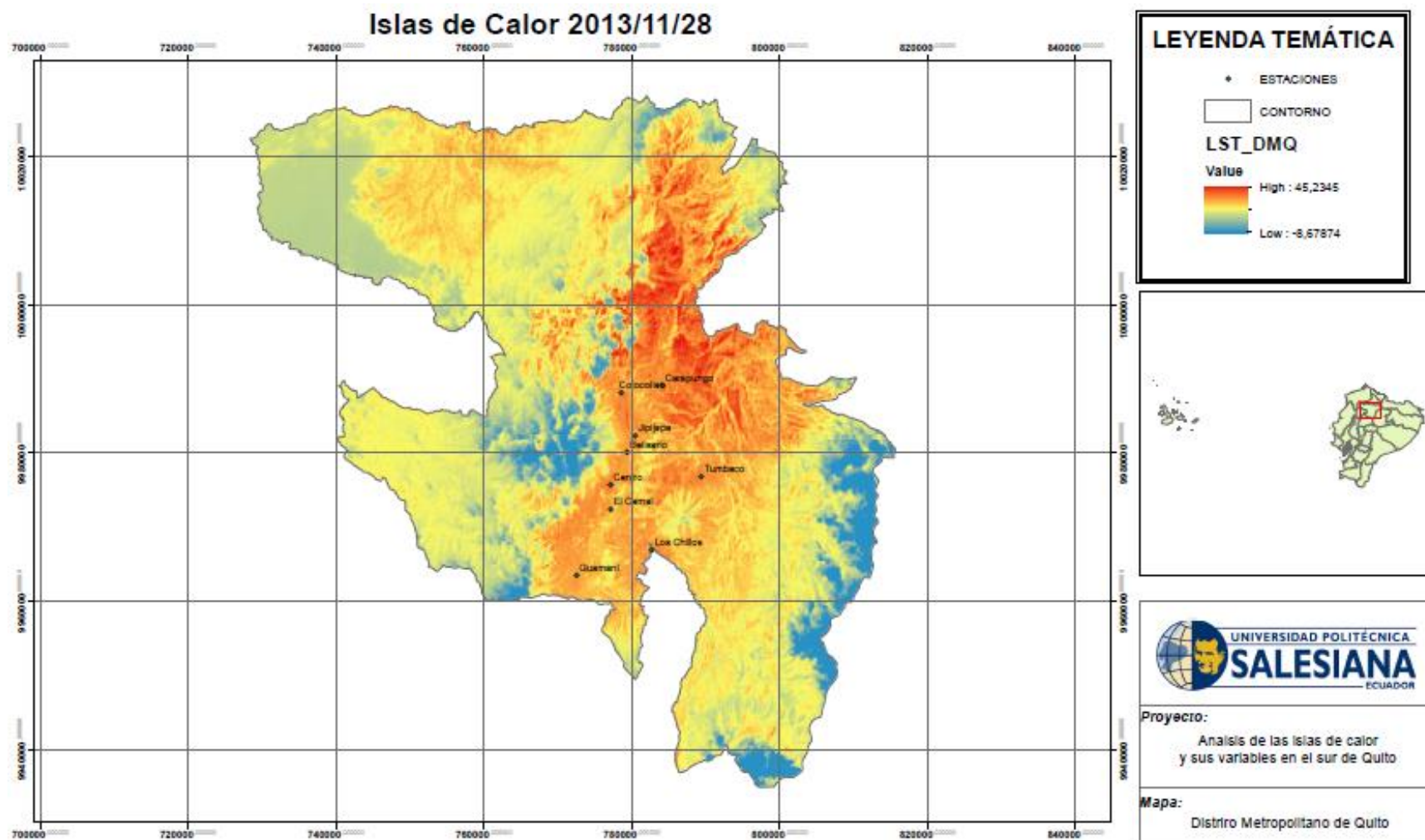
Temperatura Superficial Terrestre (LST)

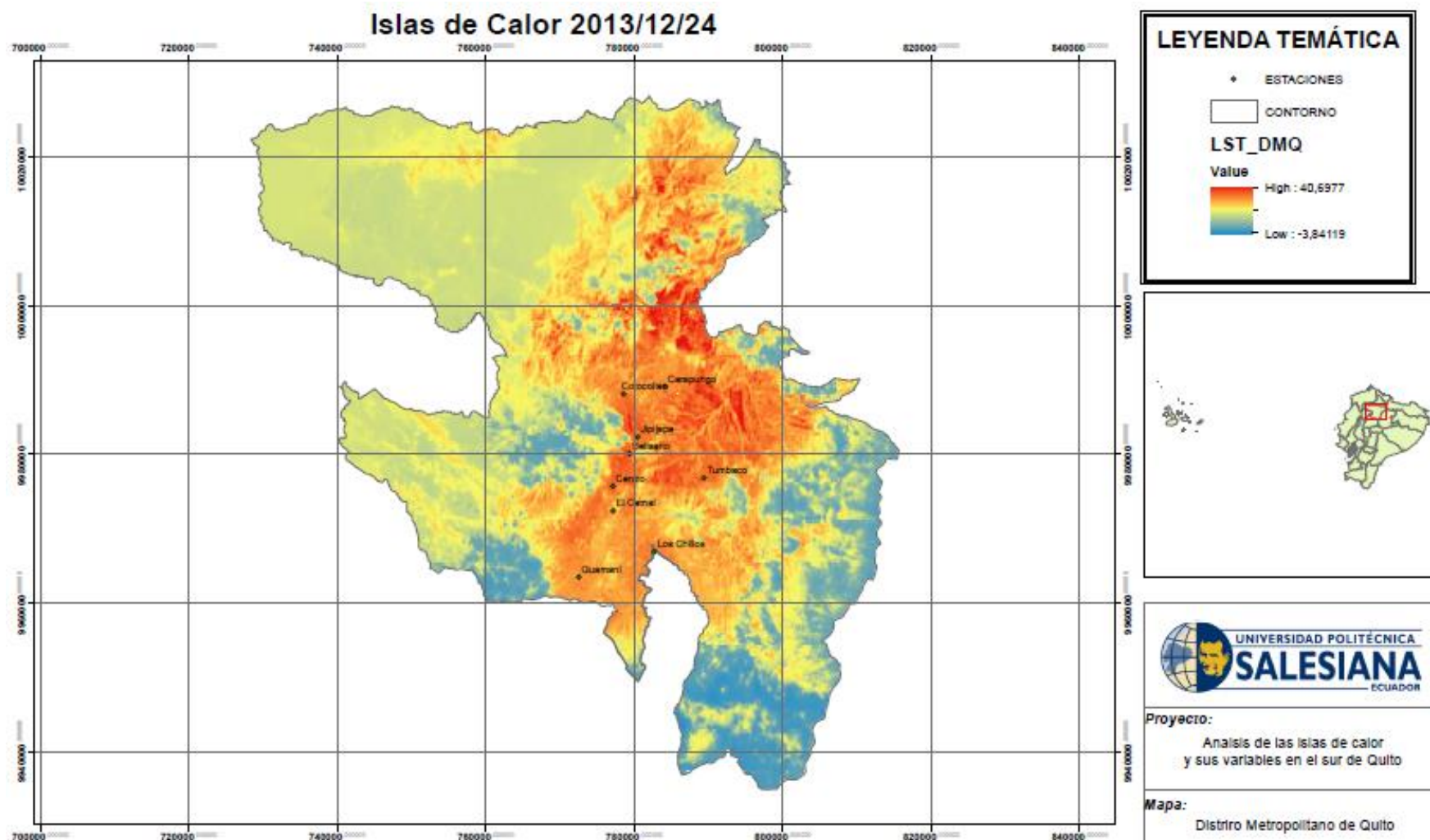


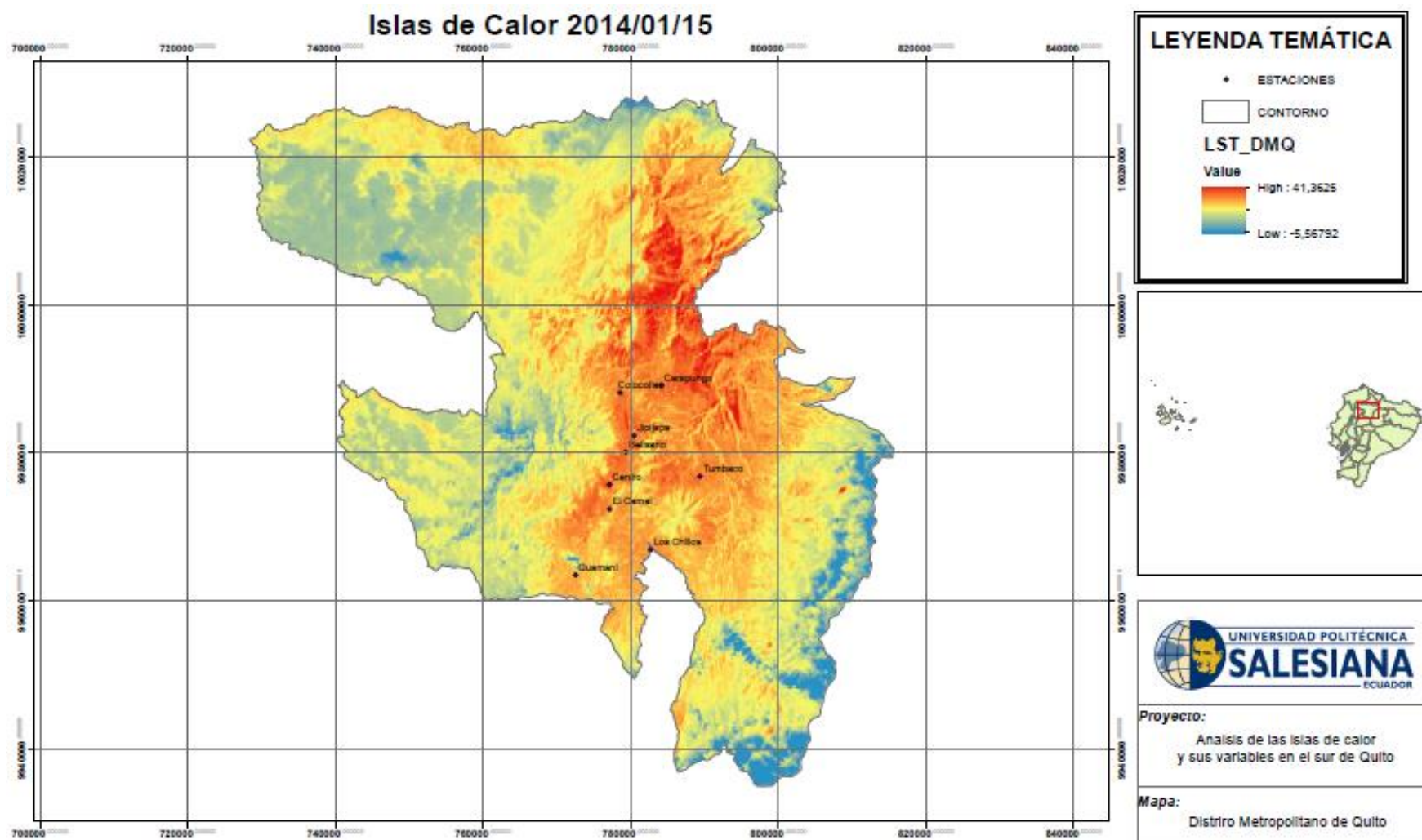


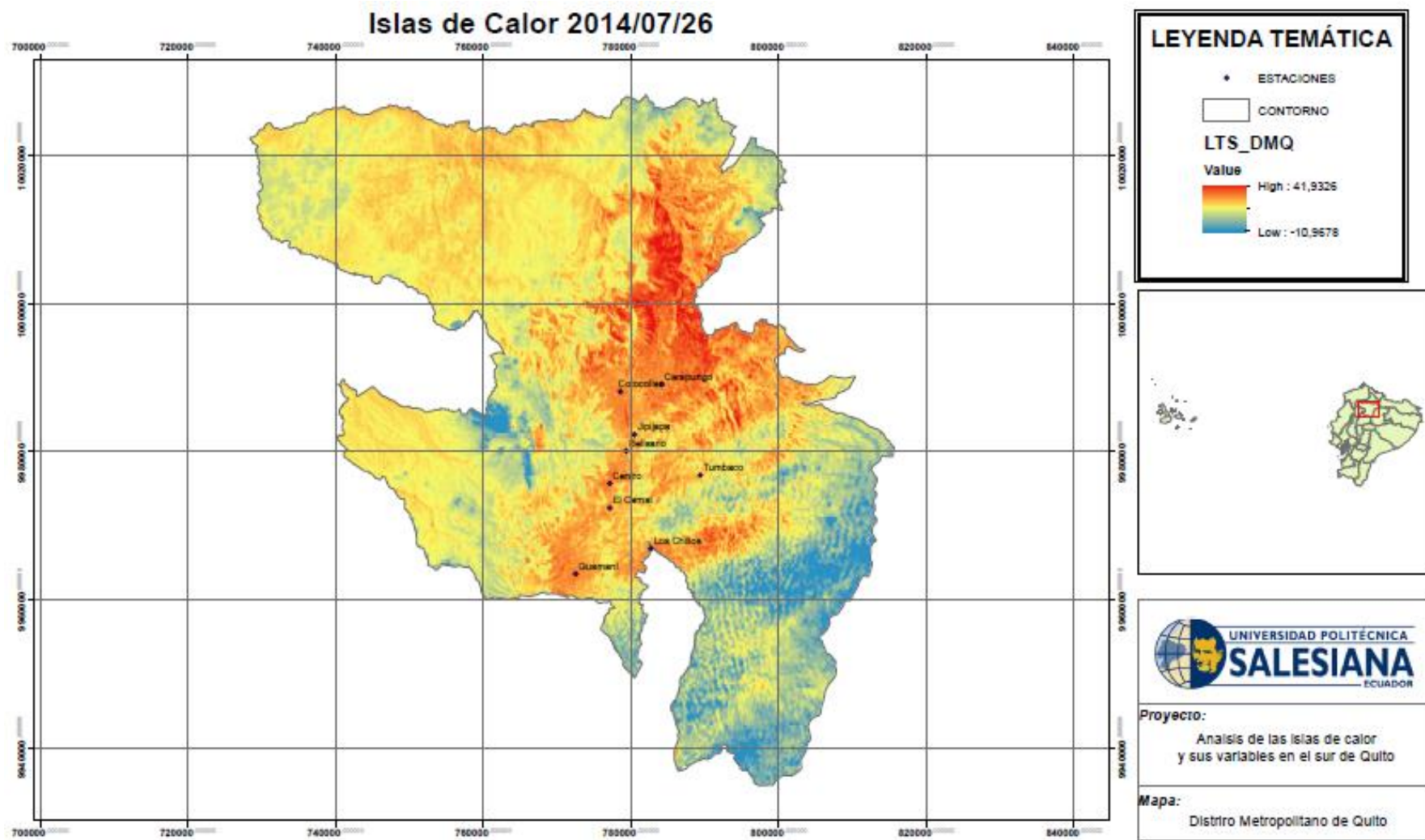




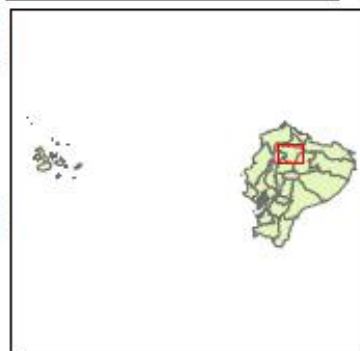
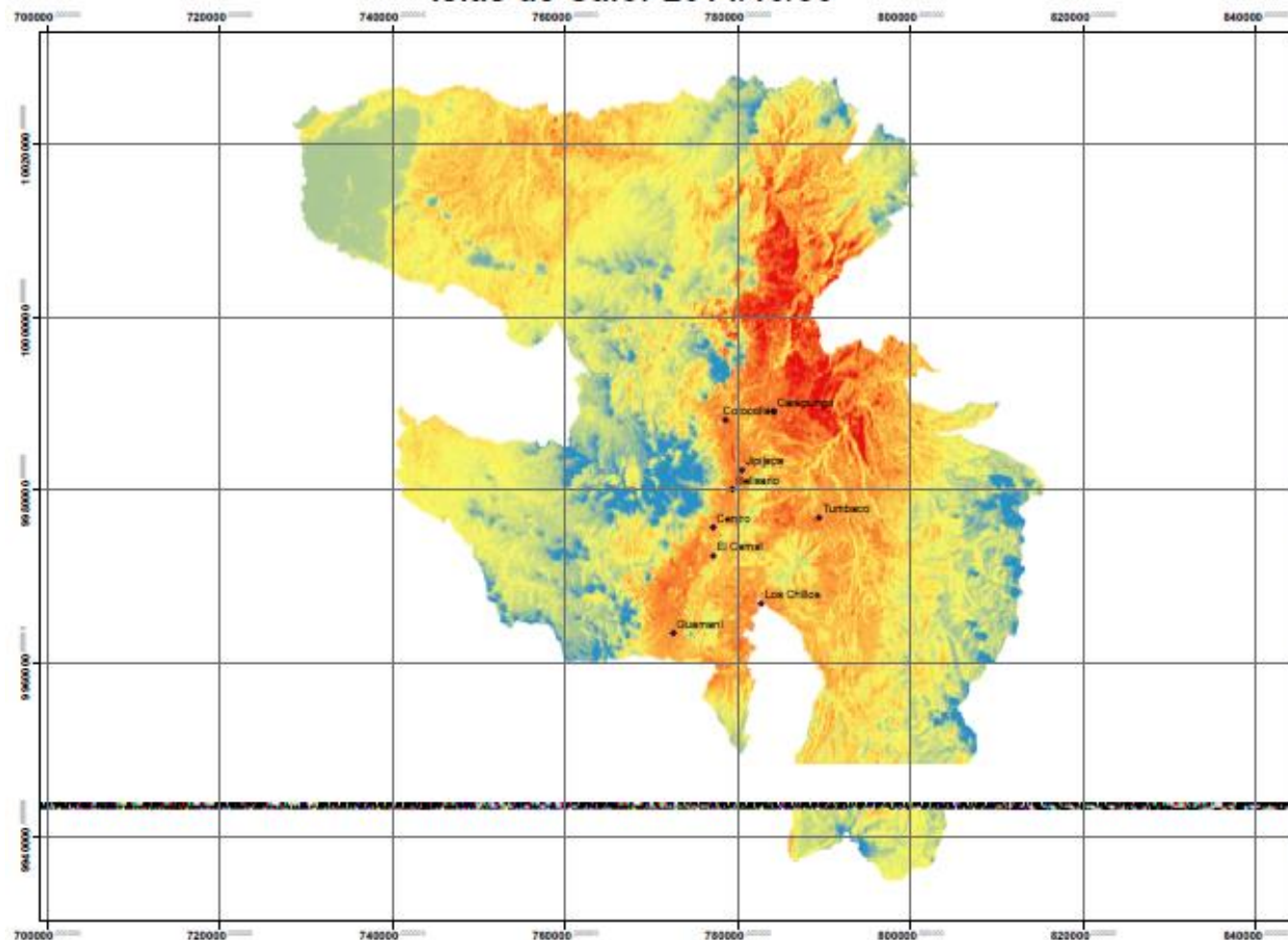








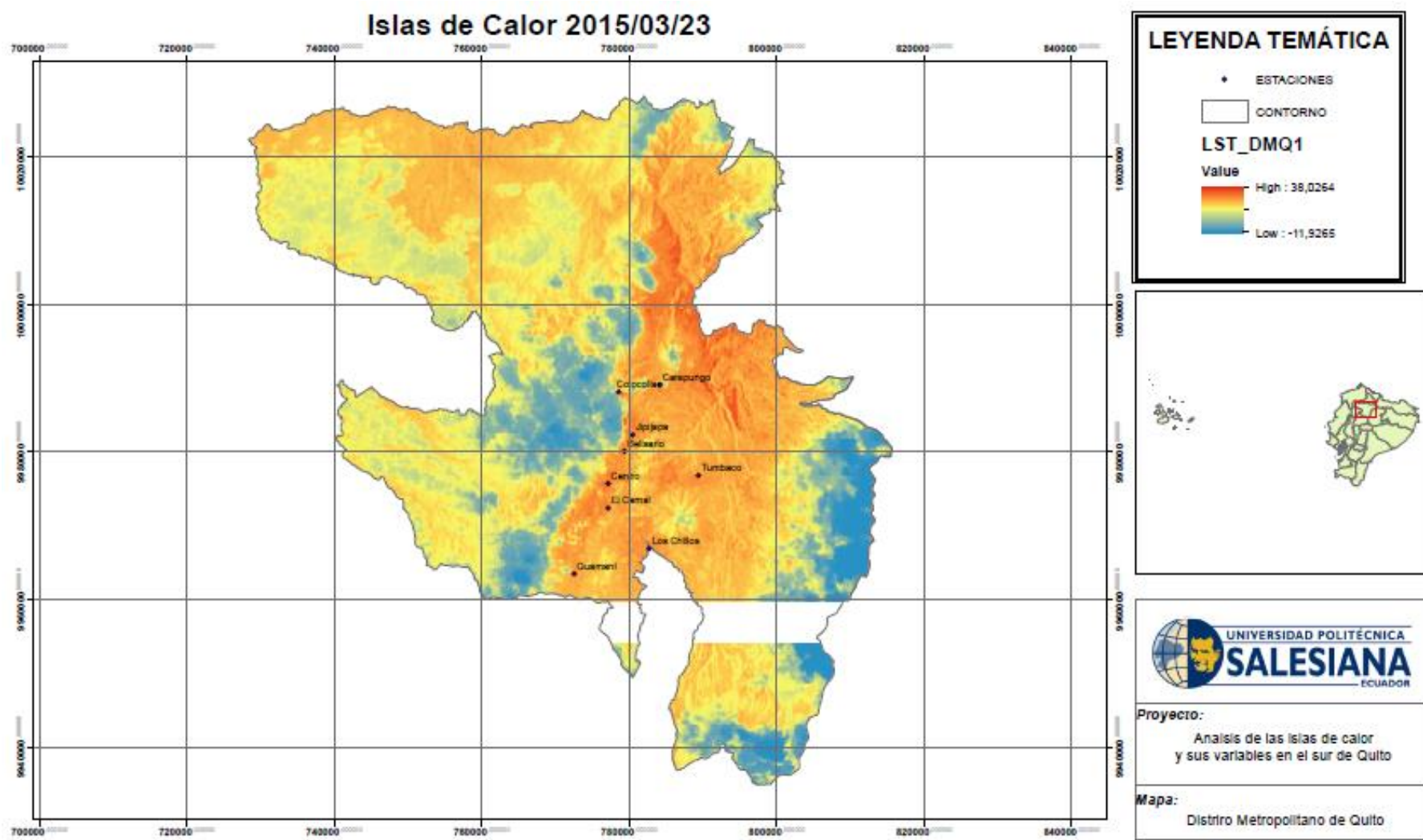
Islas de Calor 2014/10/30

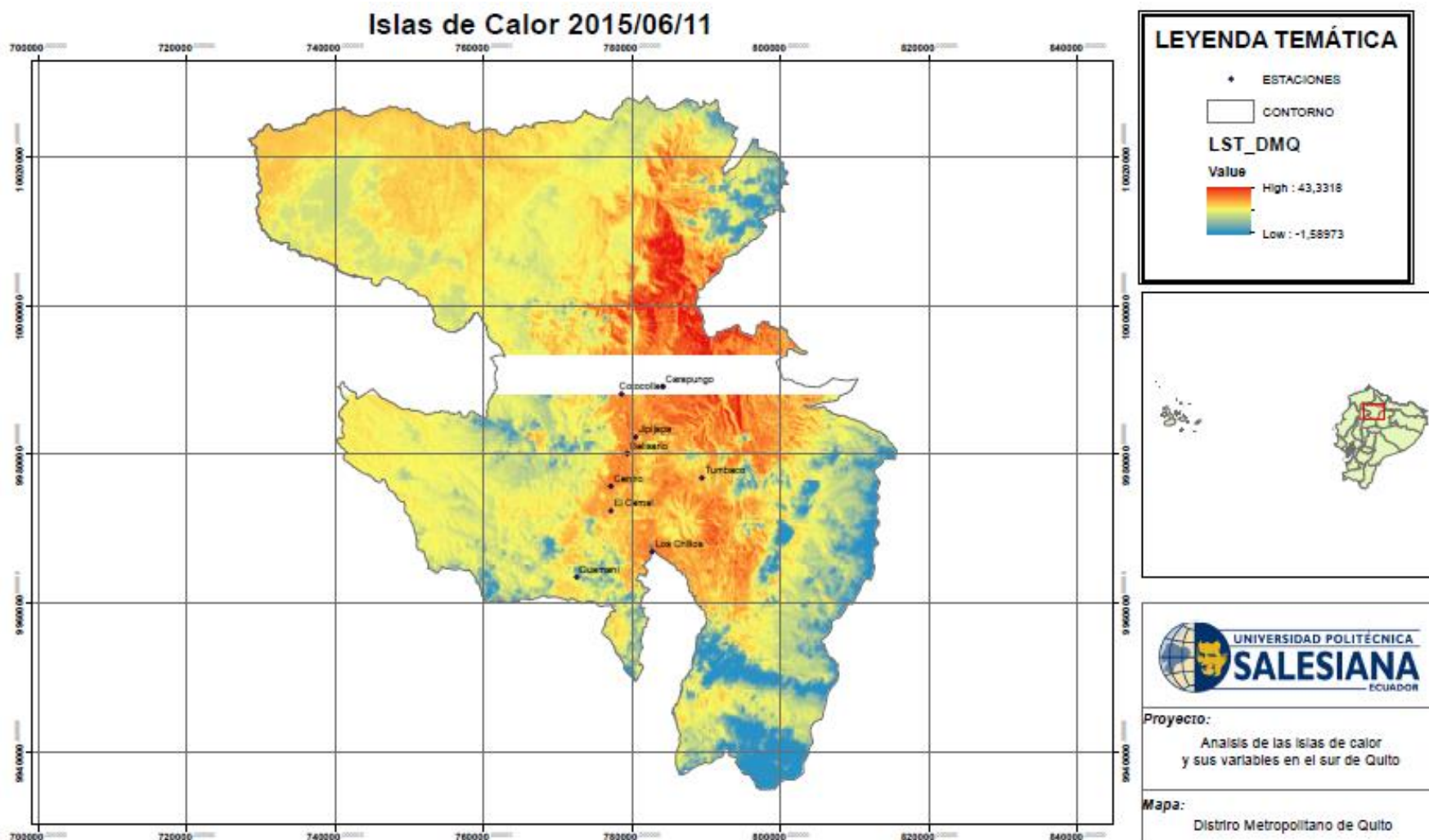


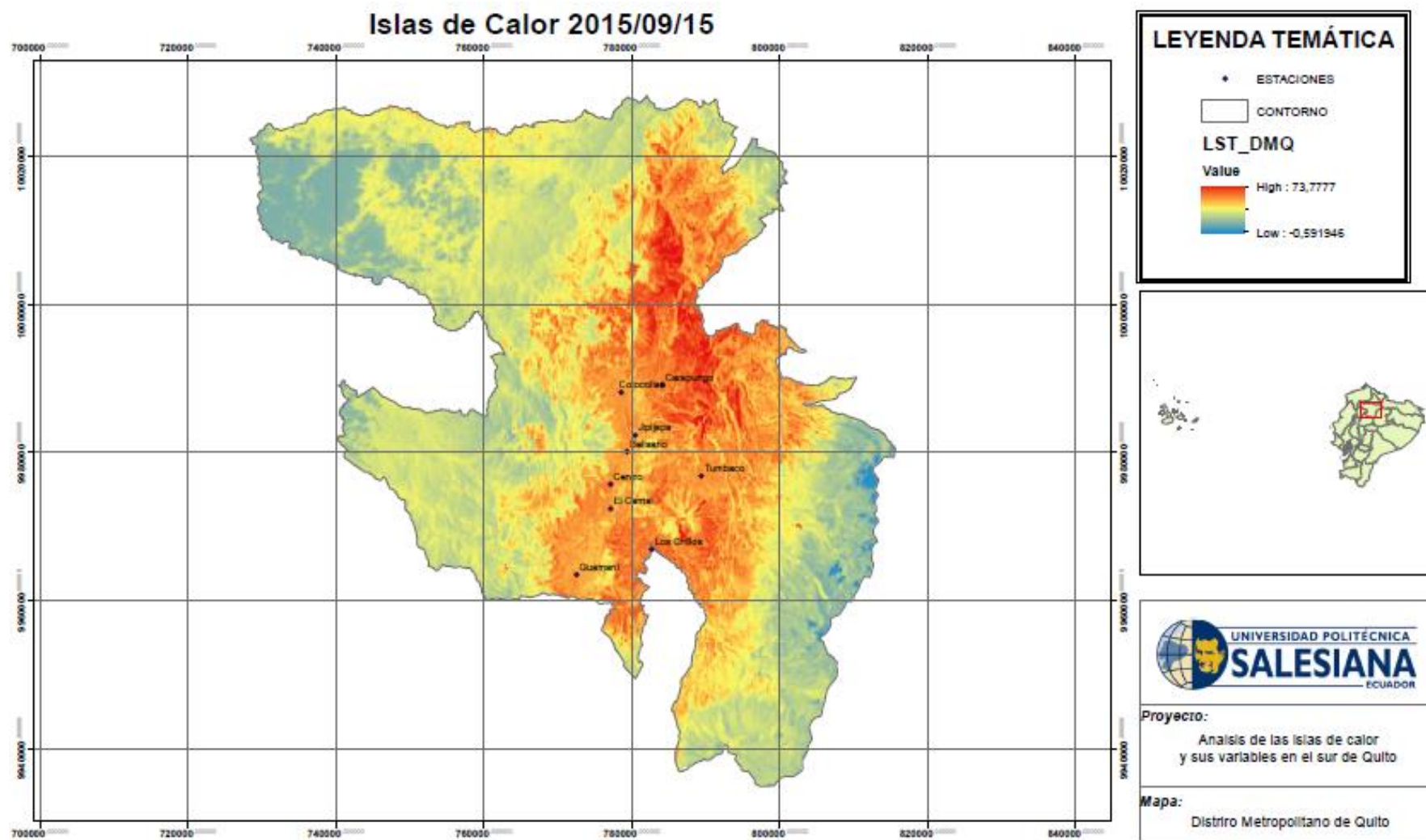
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

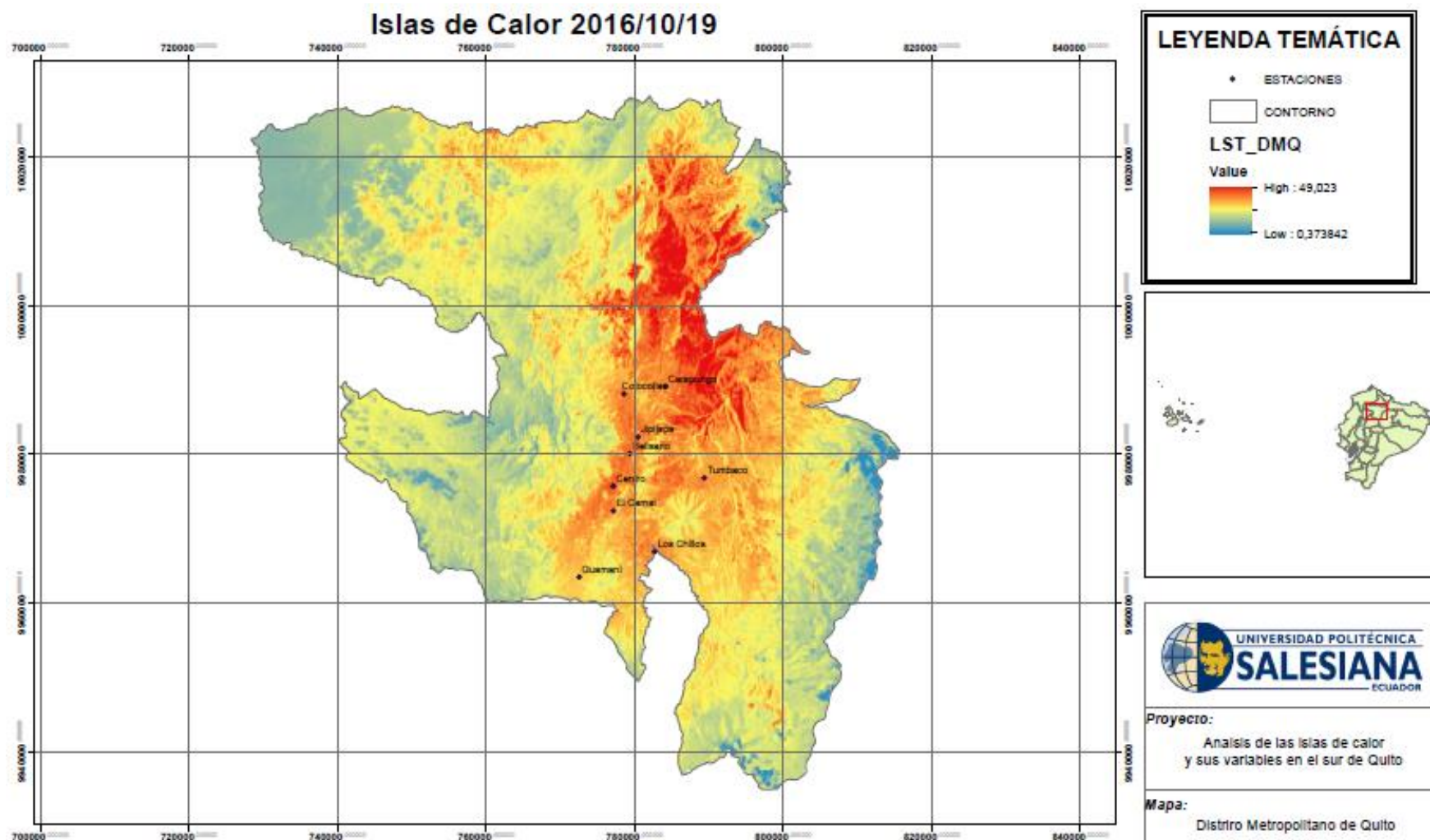
Proyecto:
Análisis de las islas de calor y sus variables en el sur de Quito

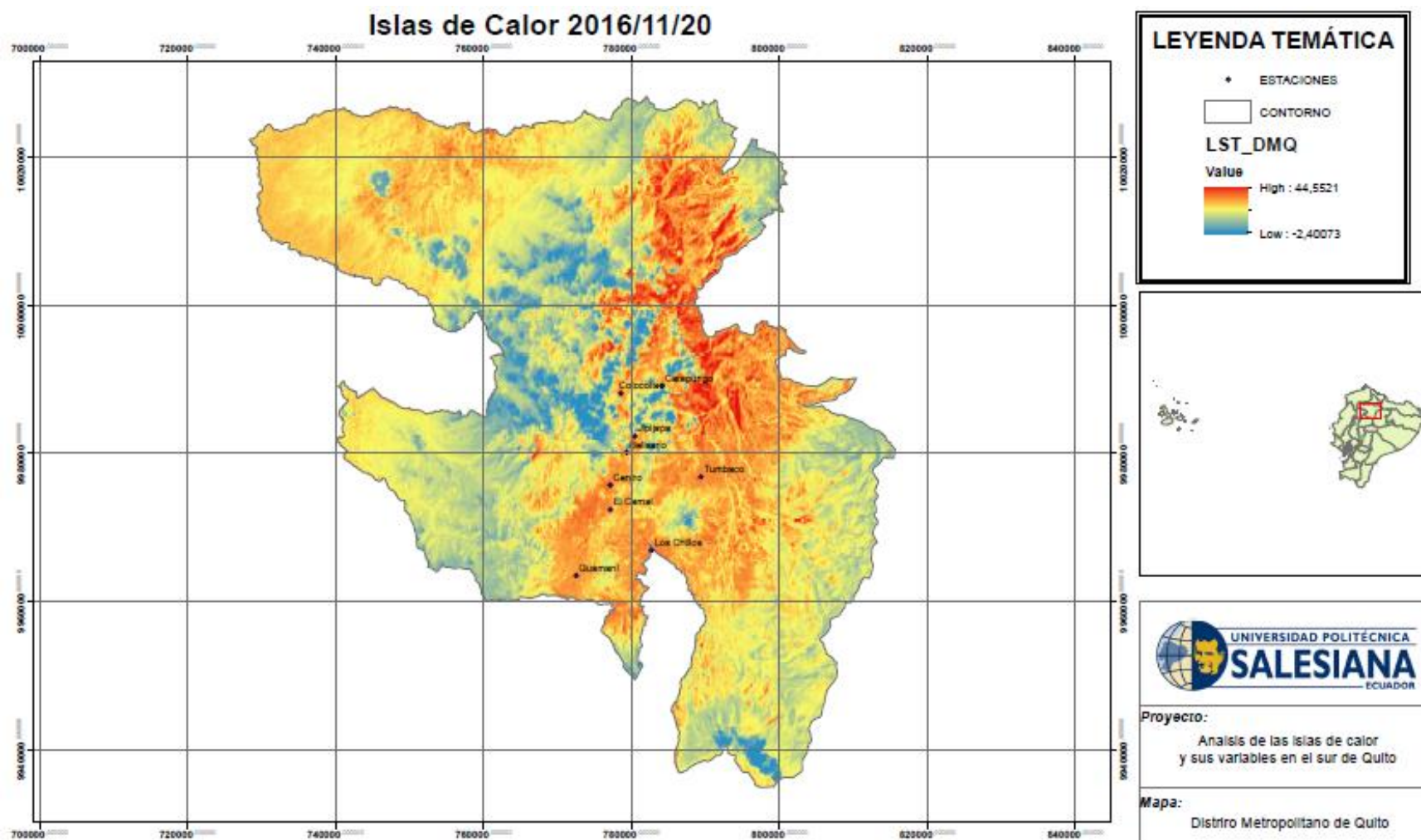
Mapa:
Distrito Metropolitano de Quito

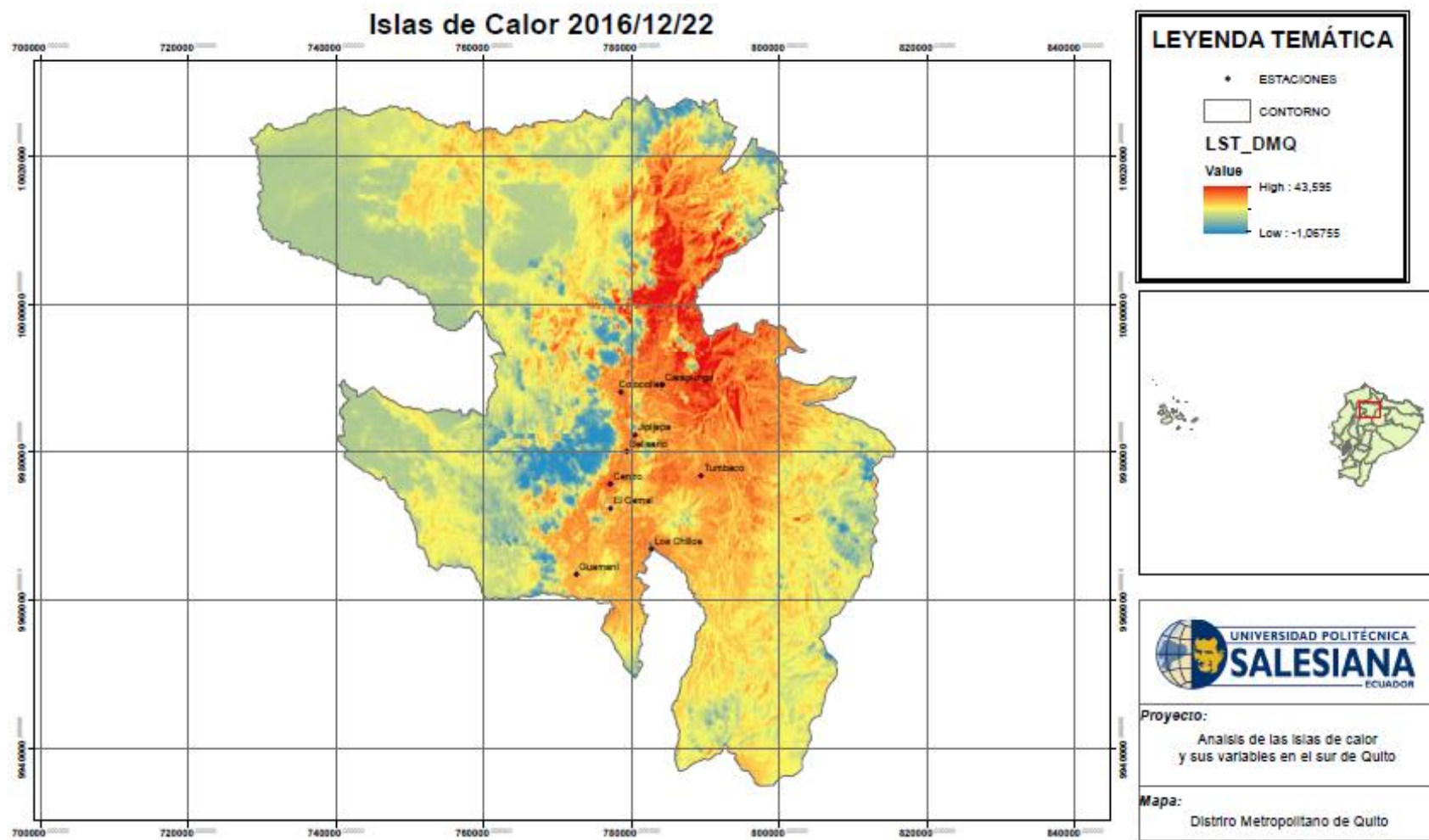


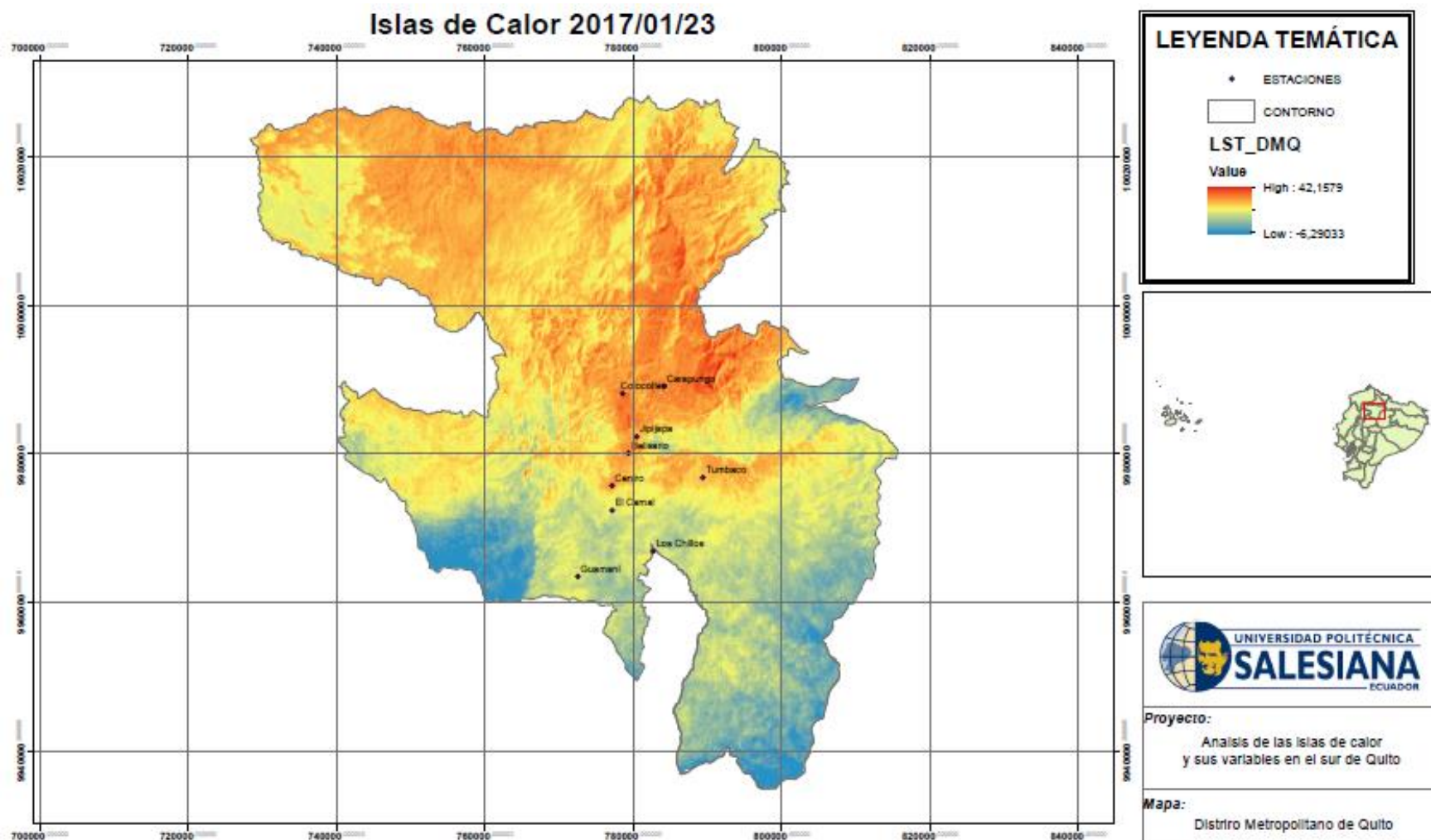


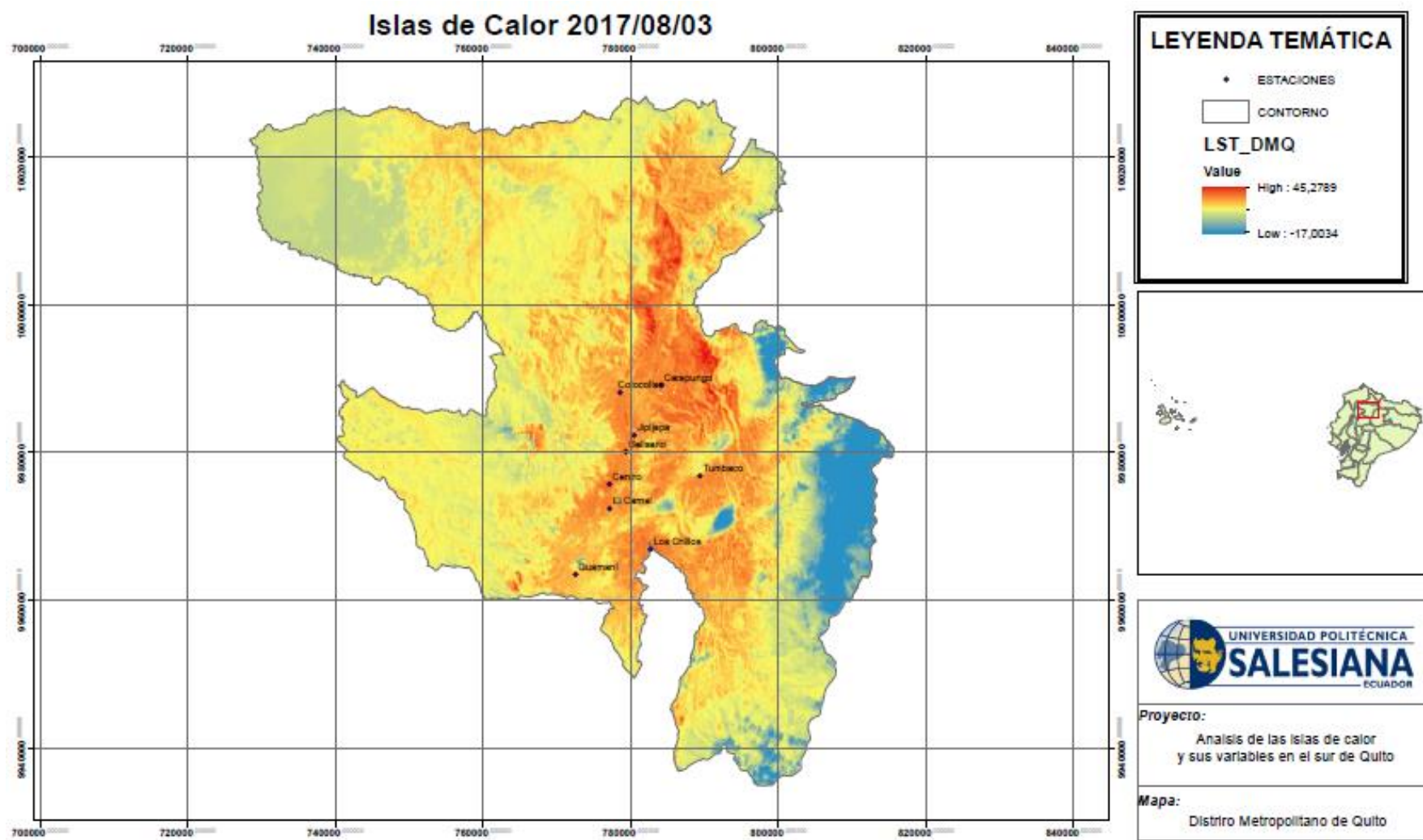


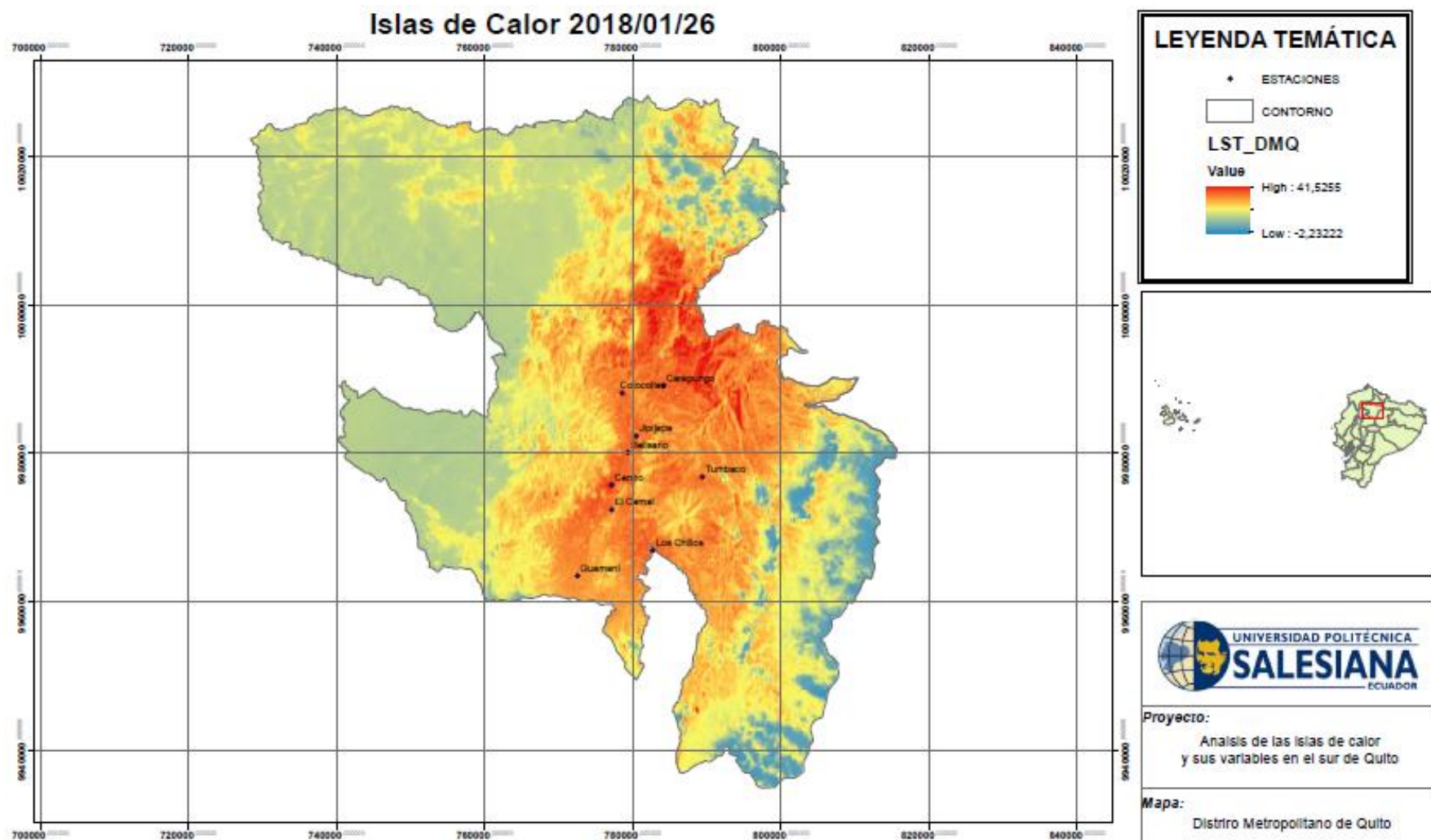


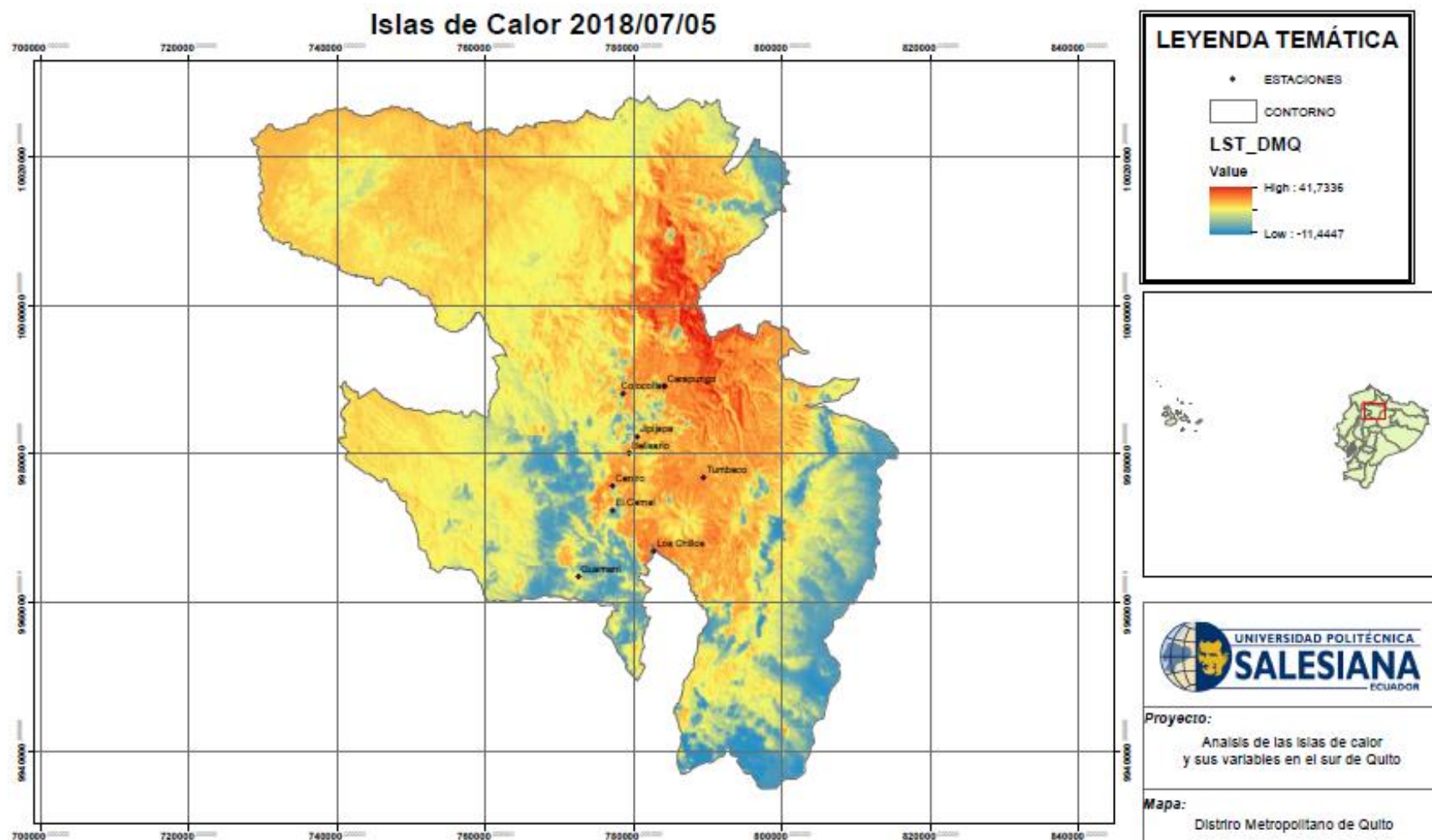


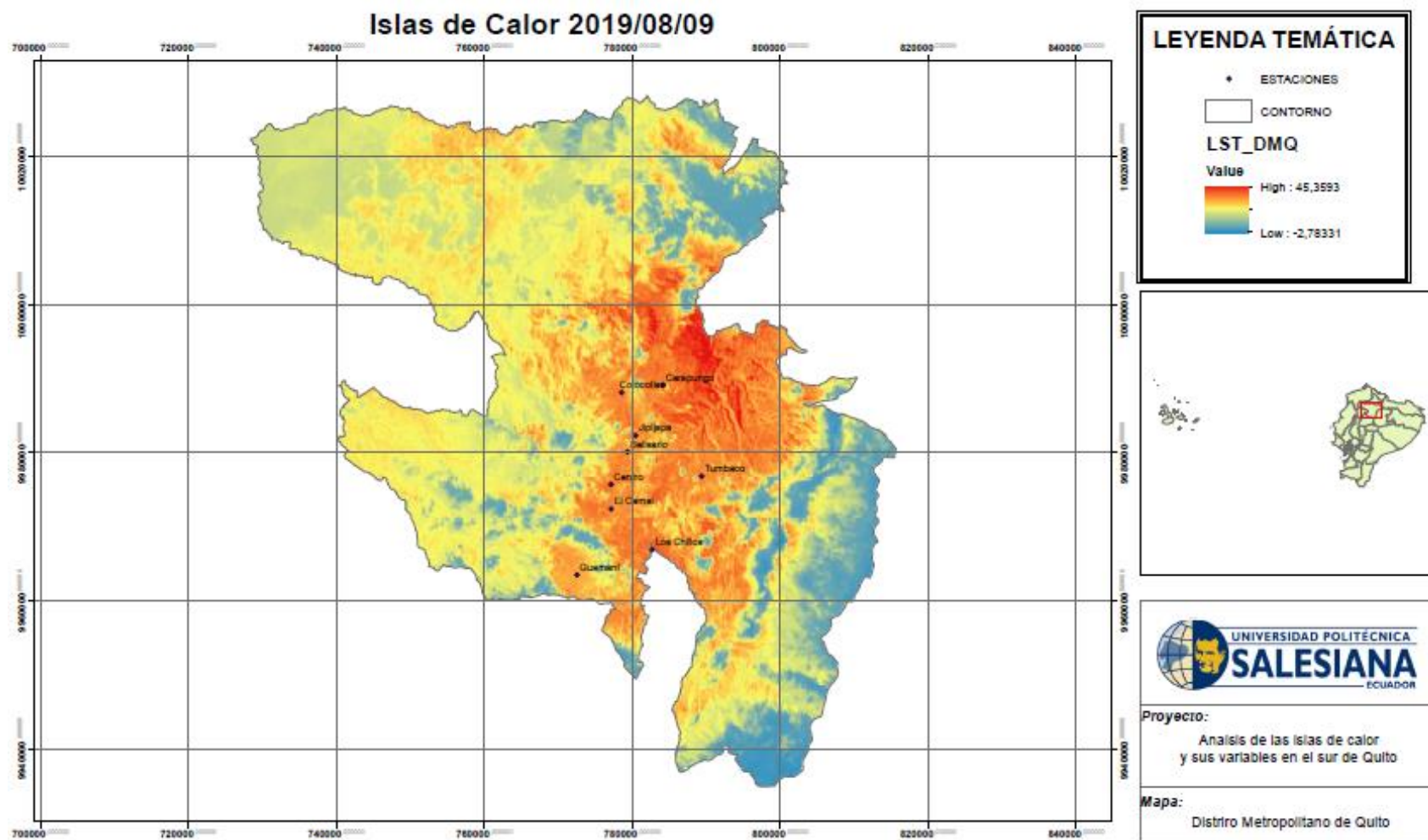




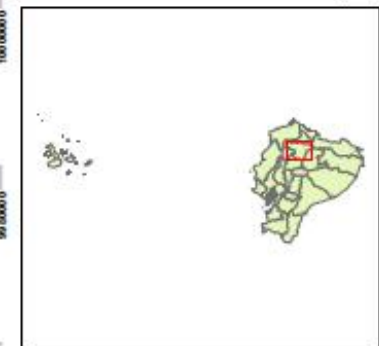
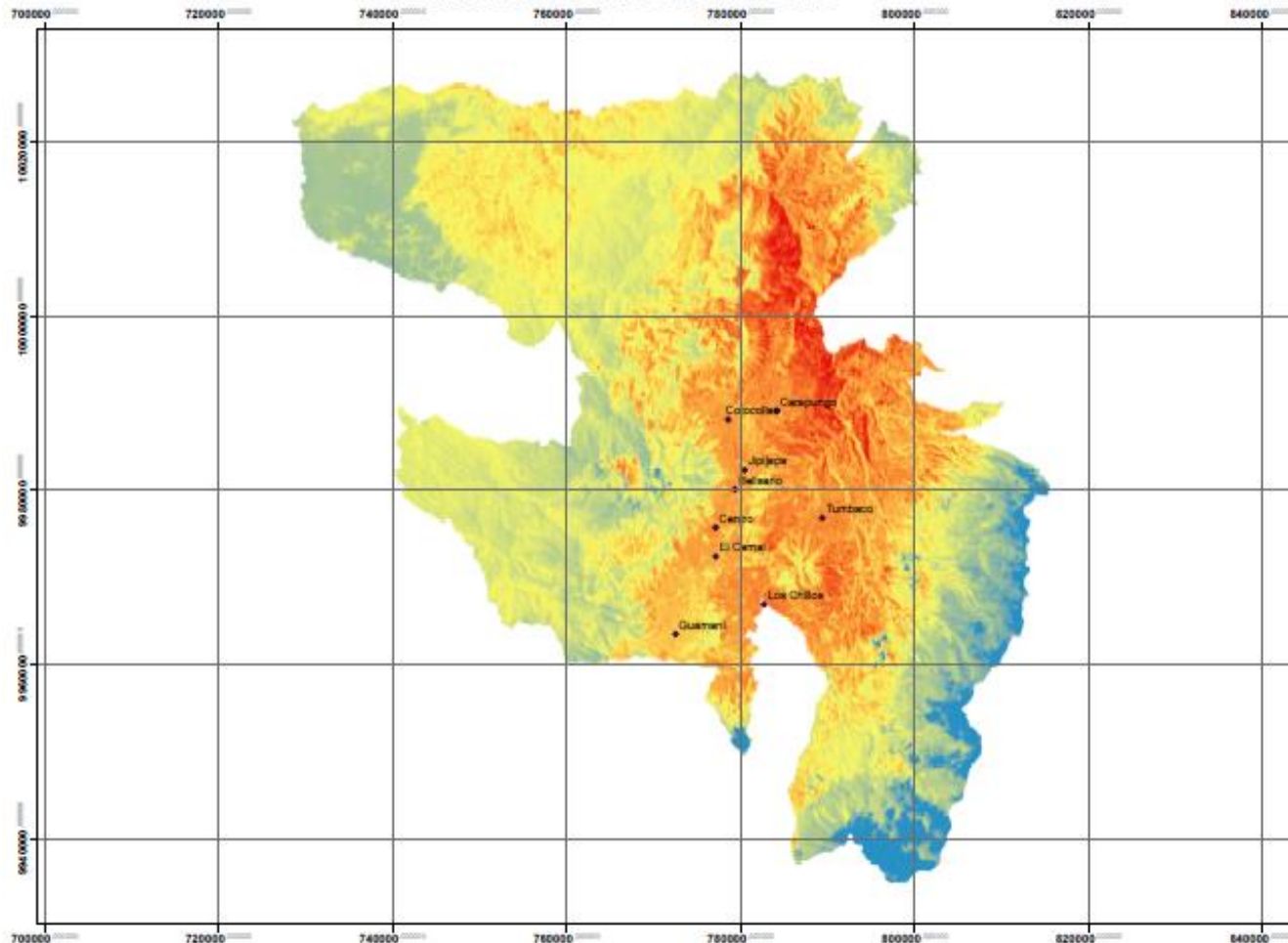






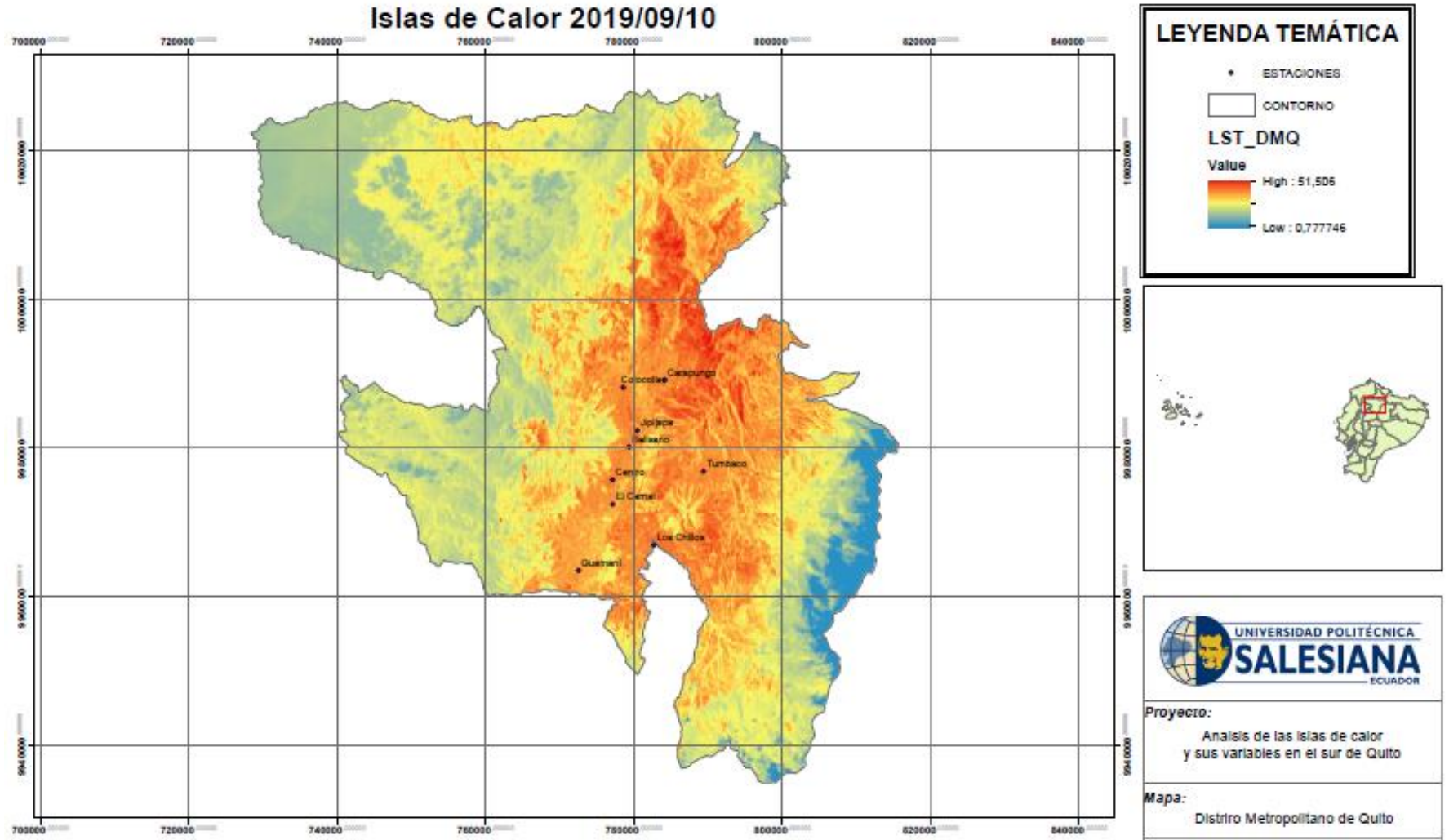


Islas de Calor 2019/08/25

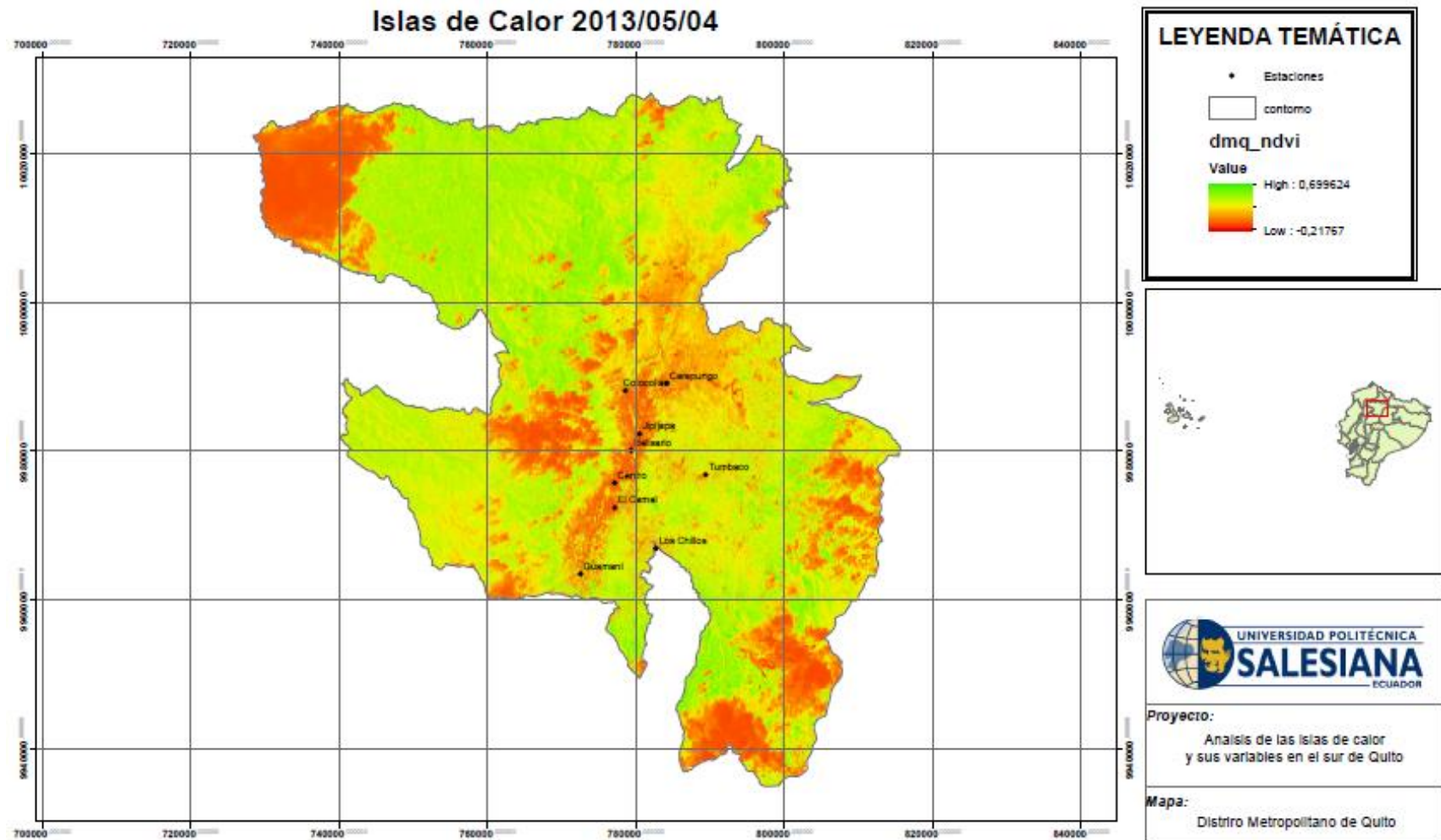


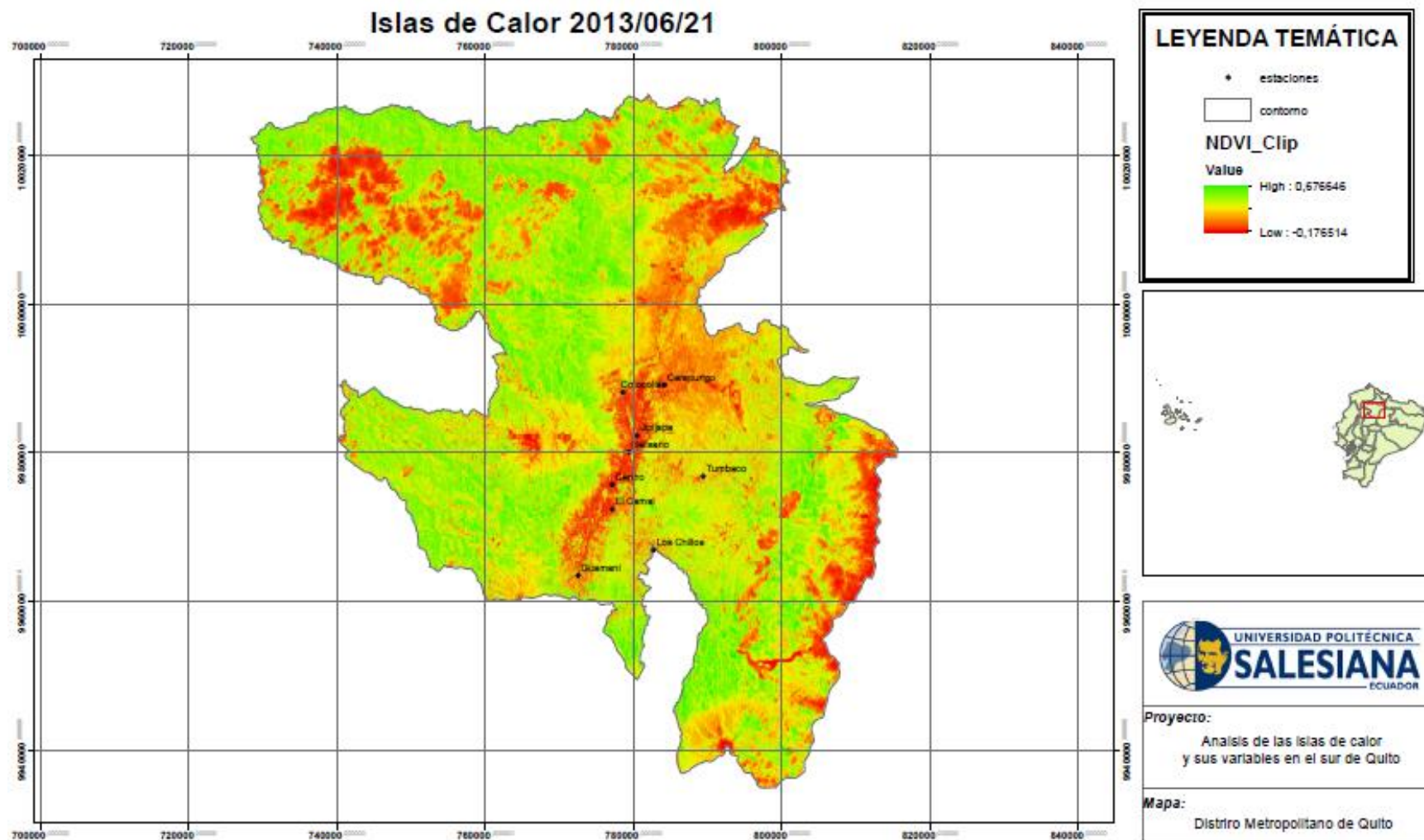
Proyecto:
Análisis de las islas de calor
y sus variables en el sur de Quito

Mapa:
Distrito Metropolitano de Quito

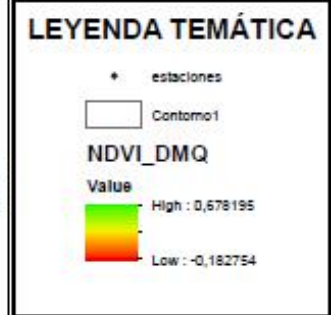
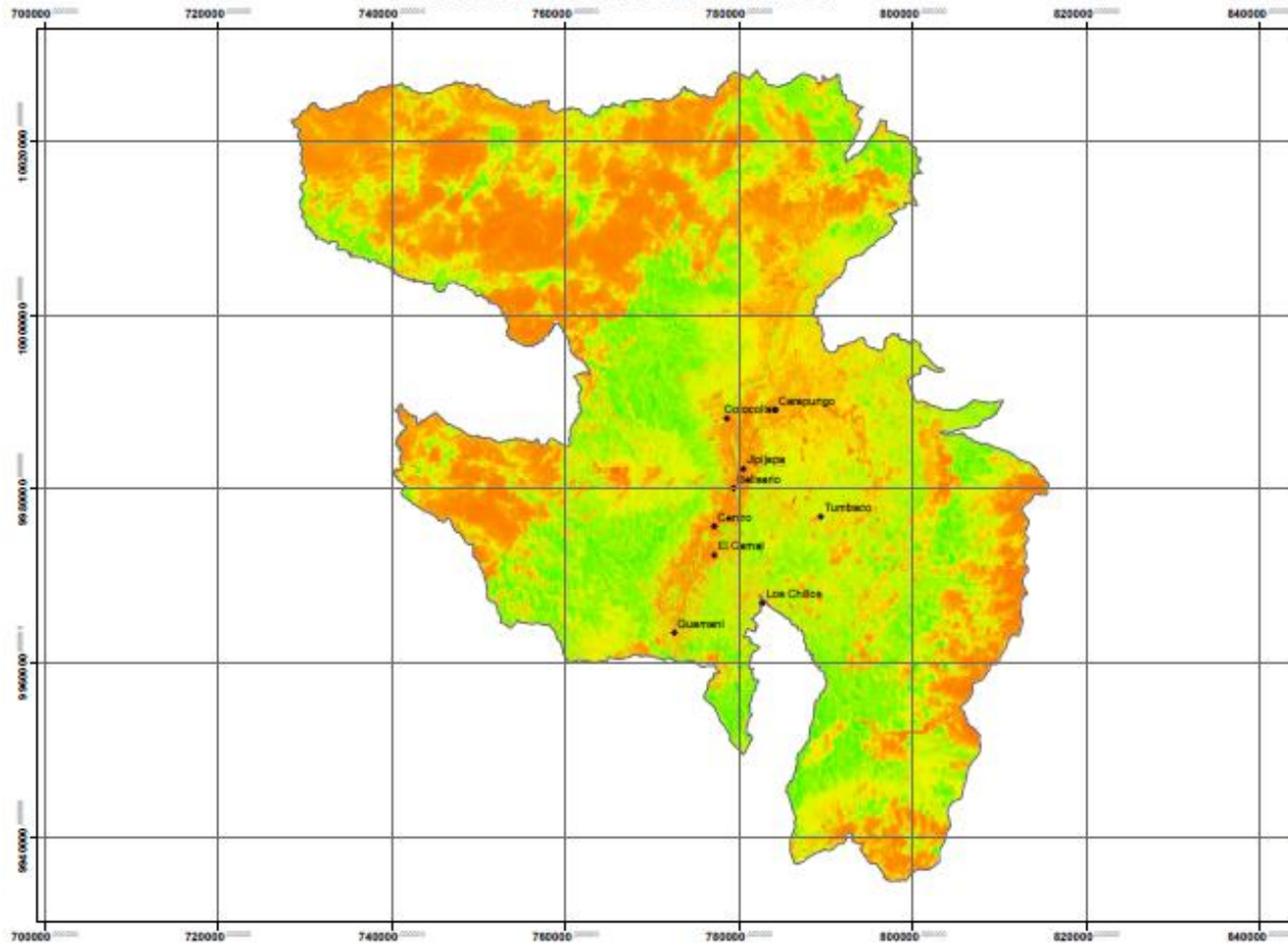


Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)



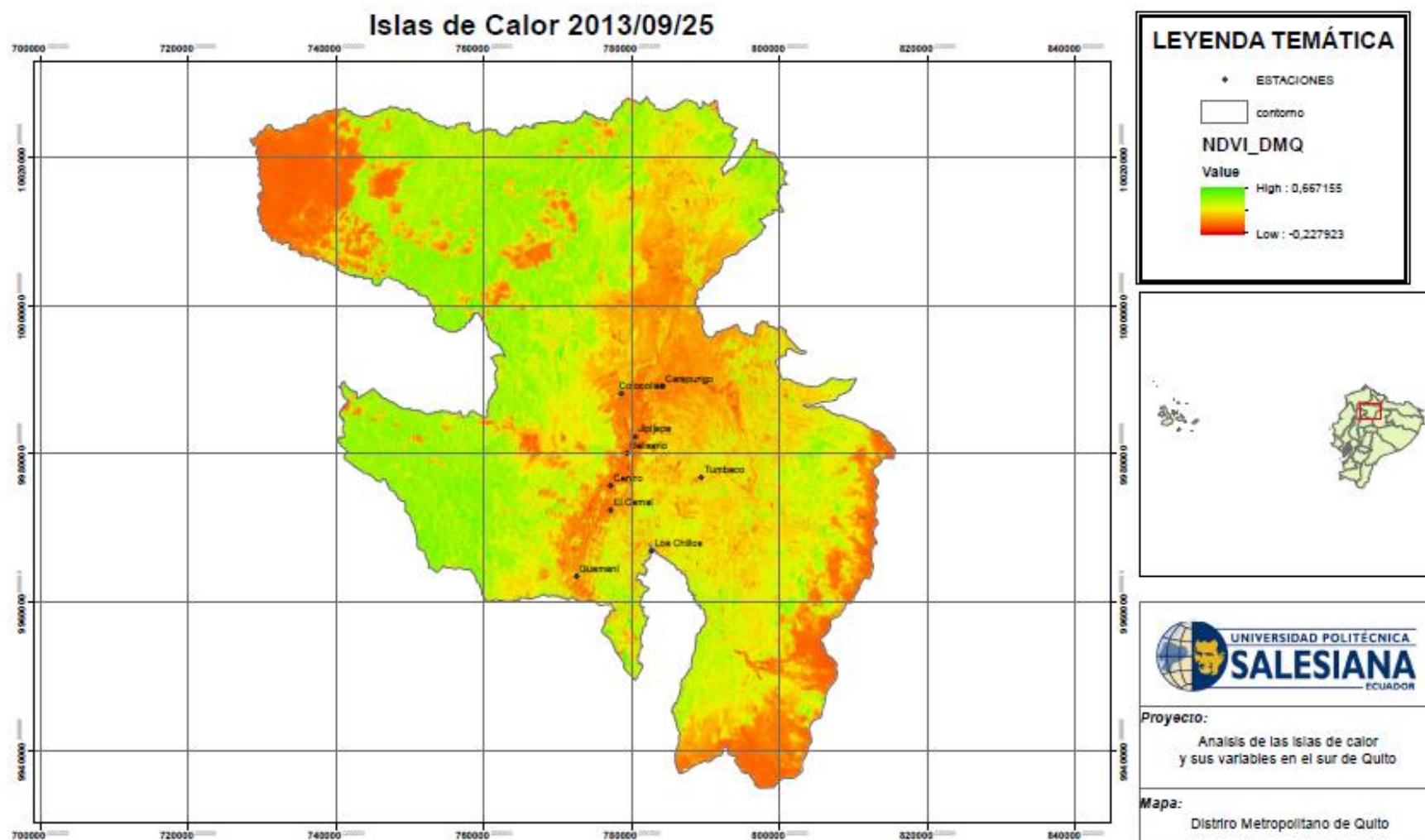


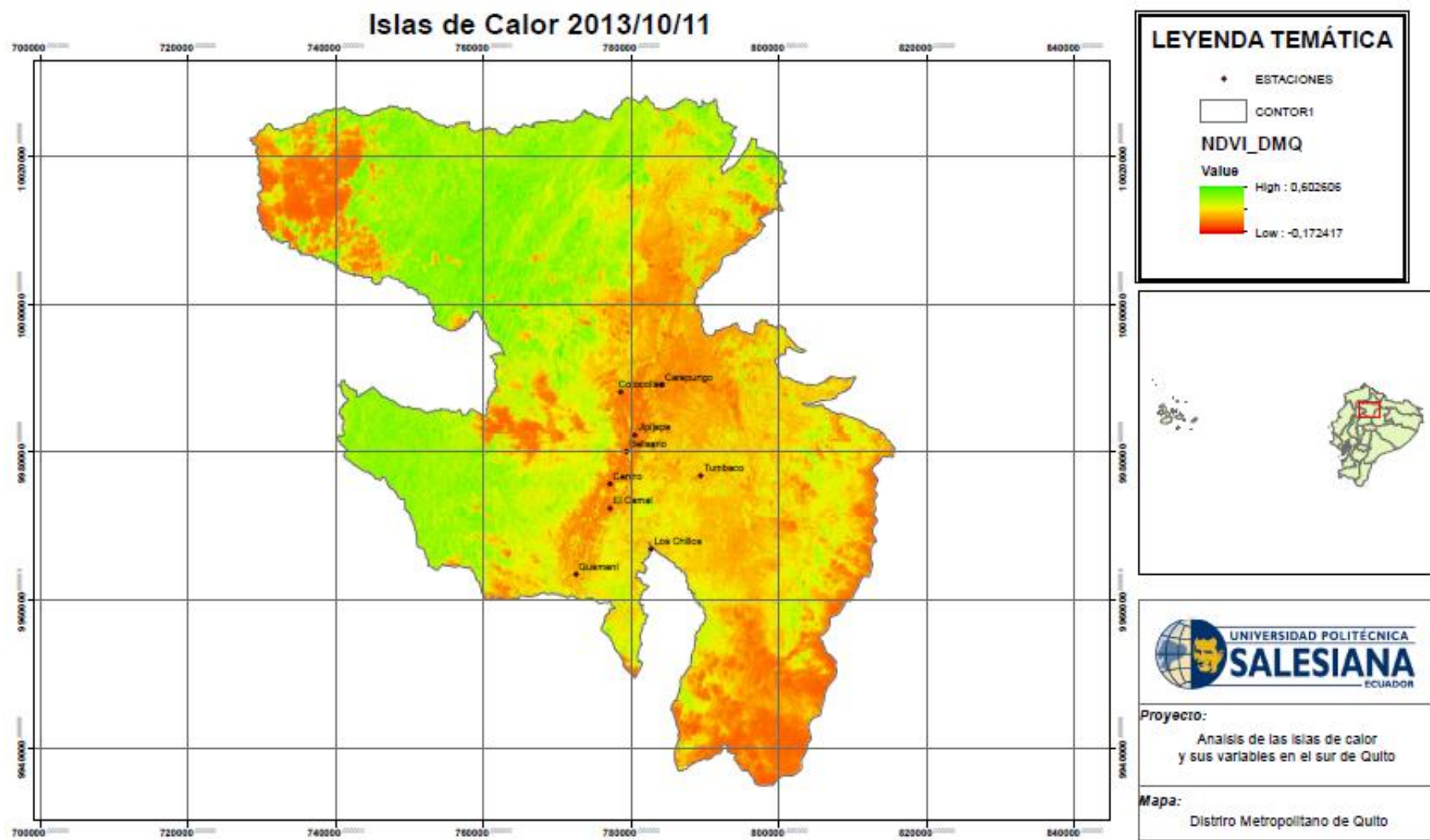
Islas de Calor 2013/07/07

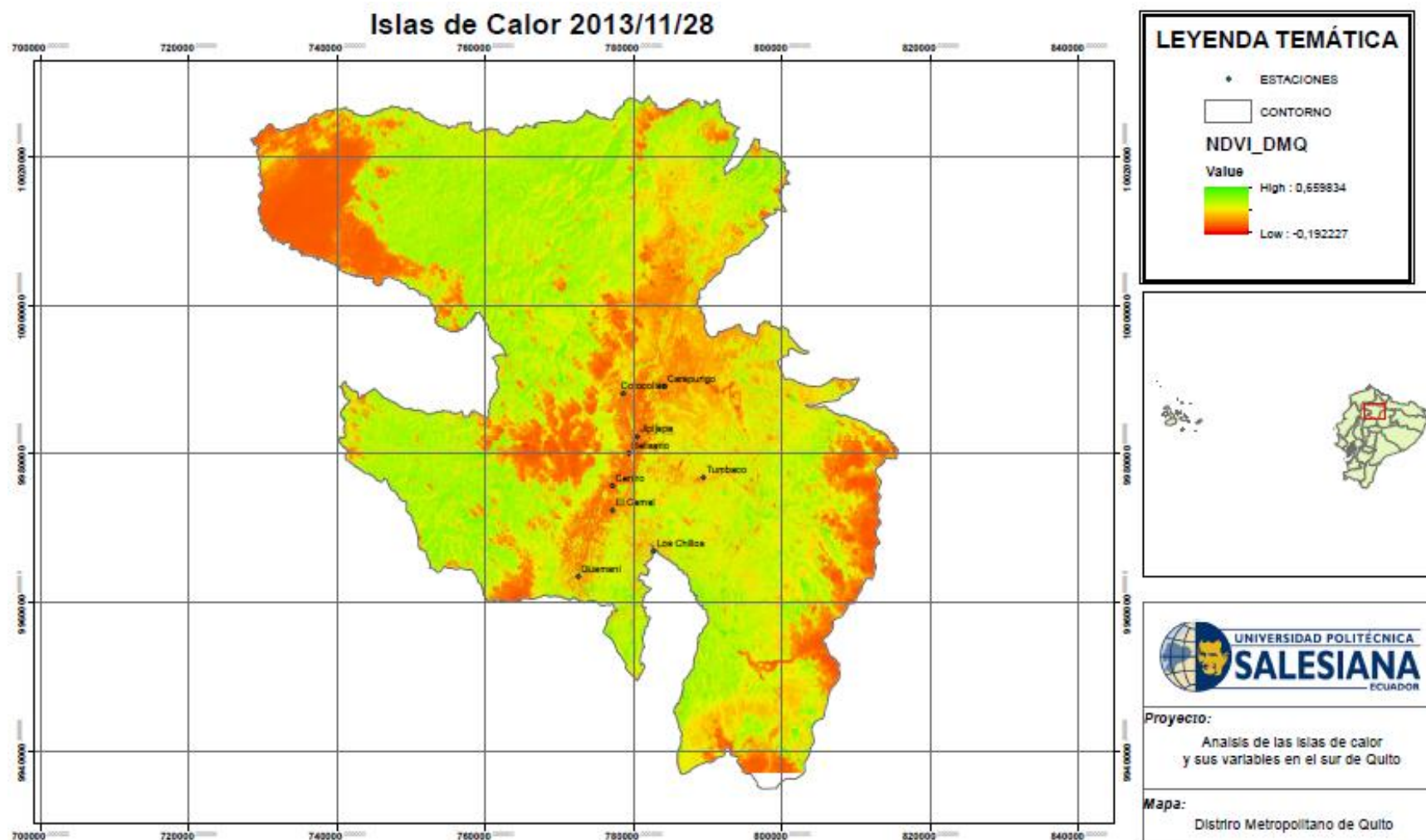


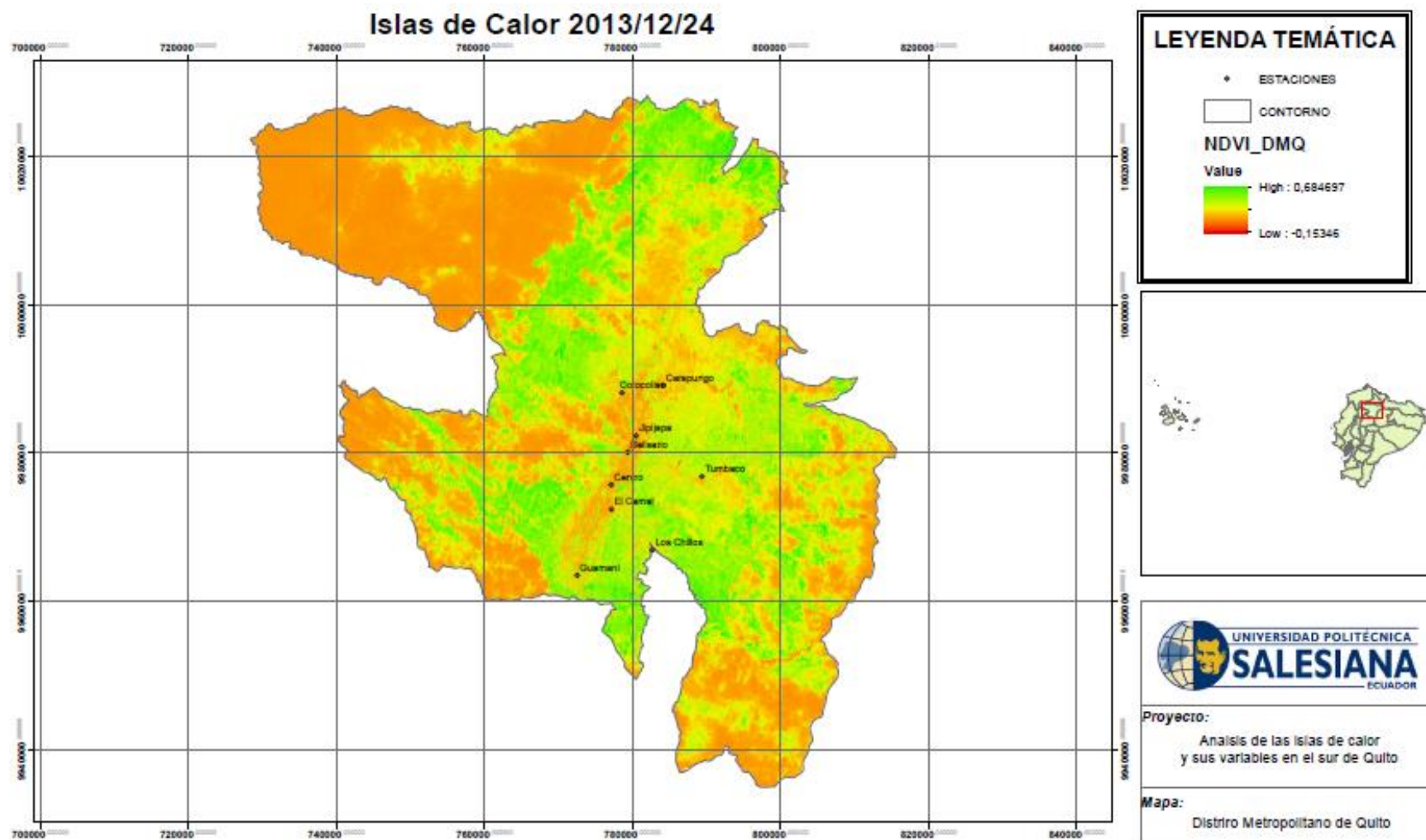
Proyecto:
Análisis de las islas de calor
y sus variables en el sur de Quito

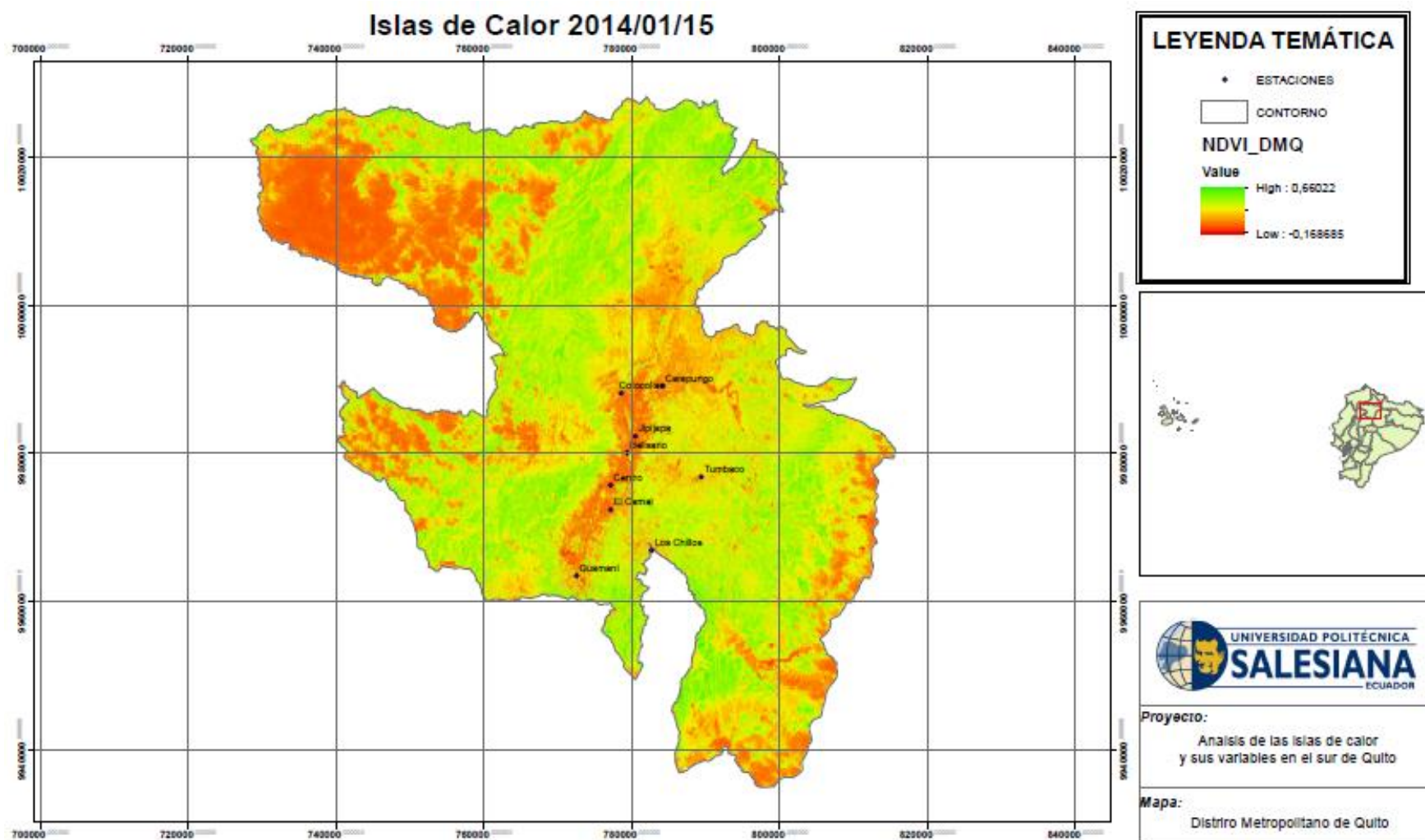
Mapa:
Distrito Metropolitano de Quito

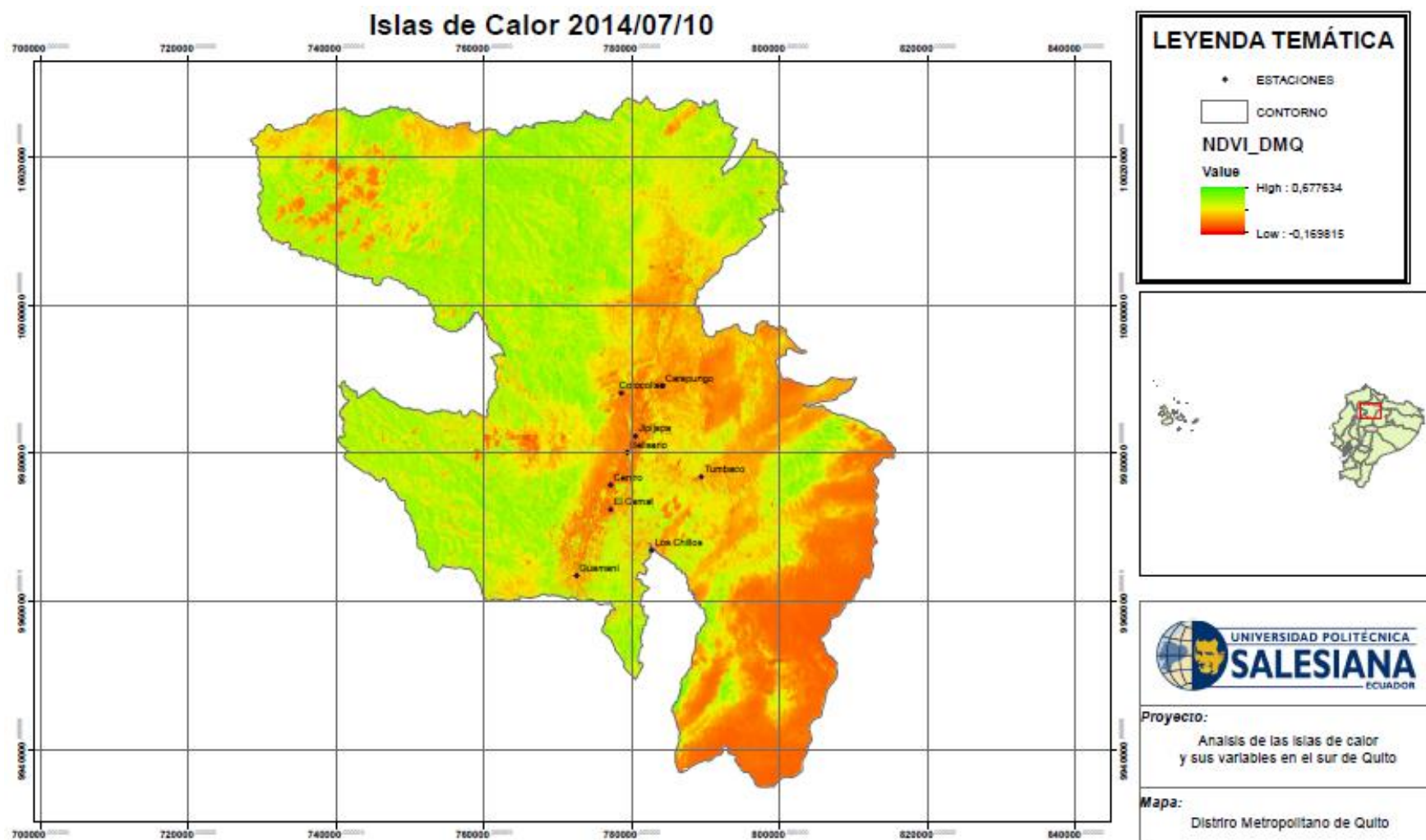


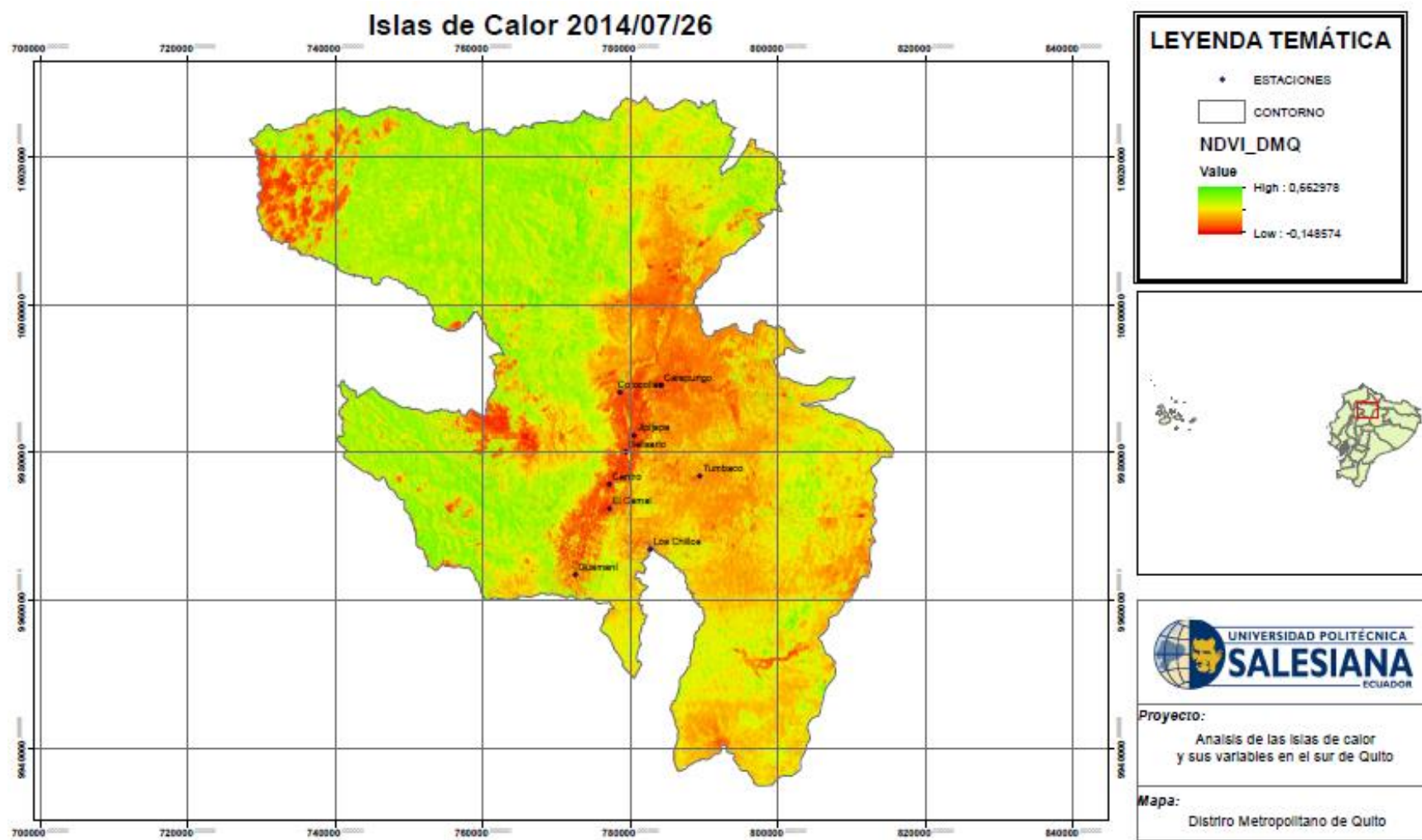


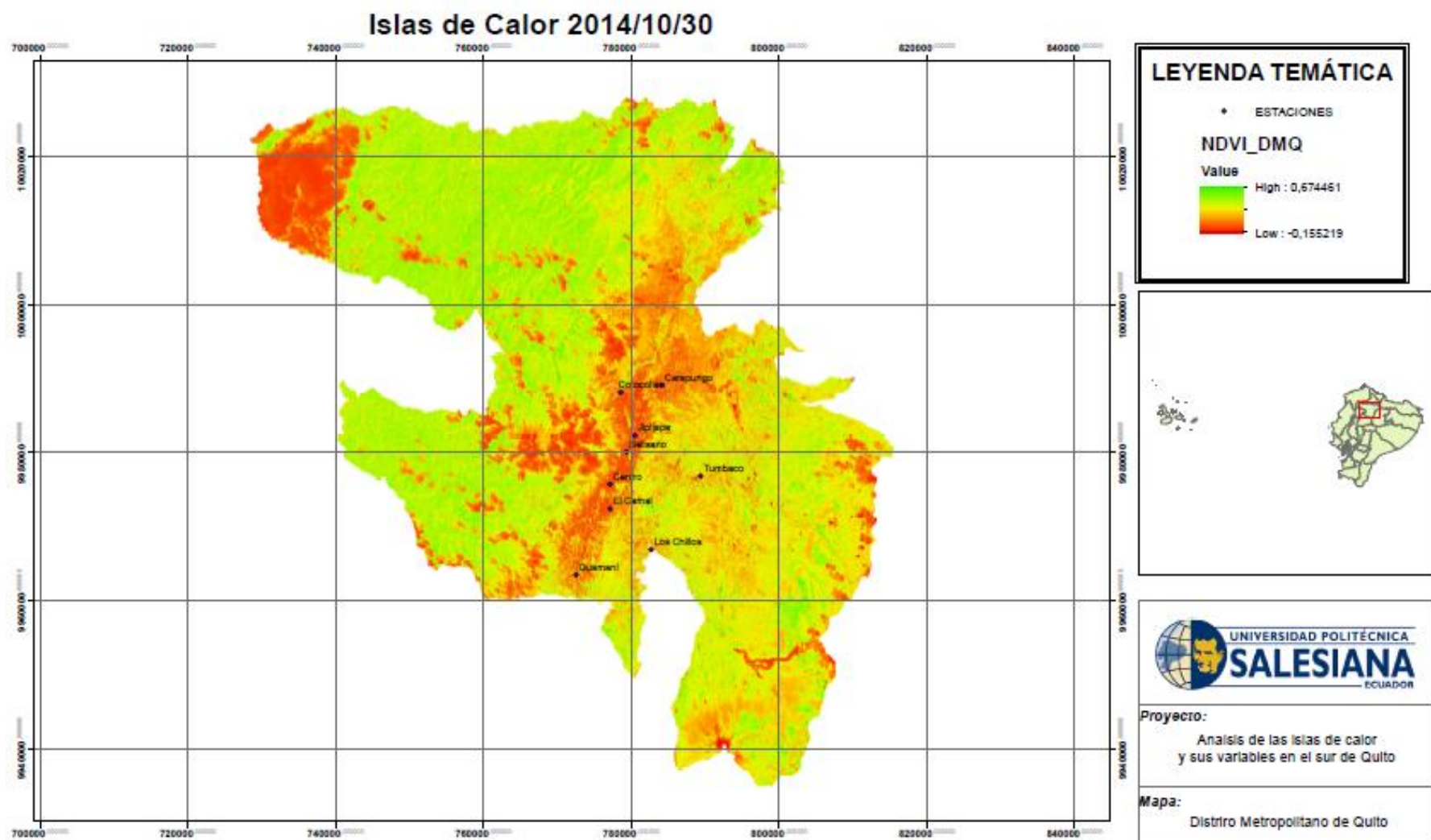


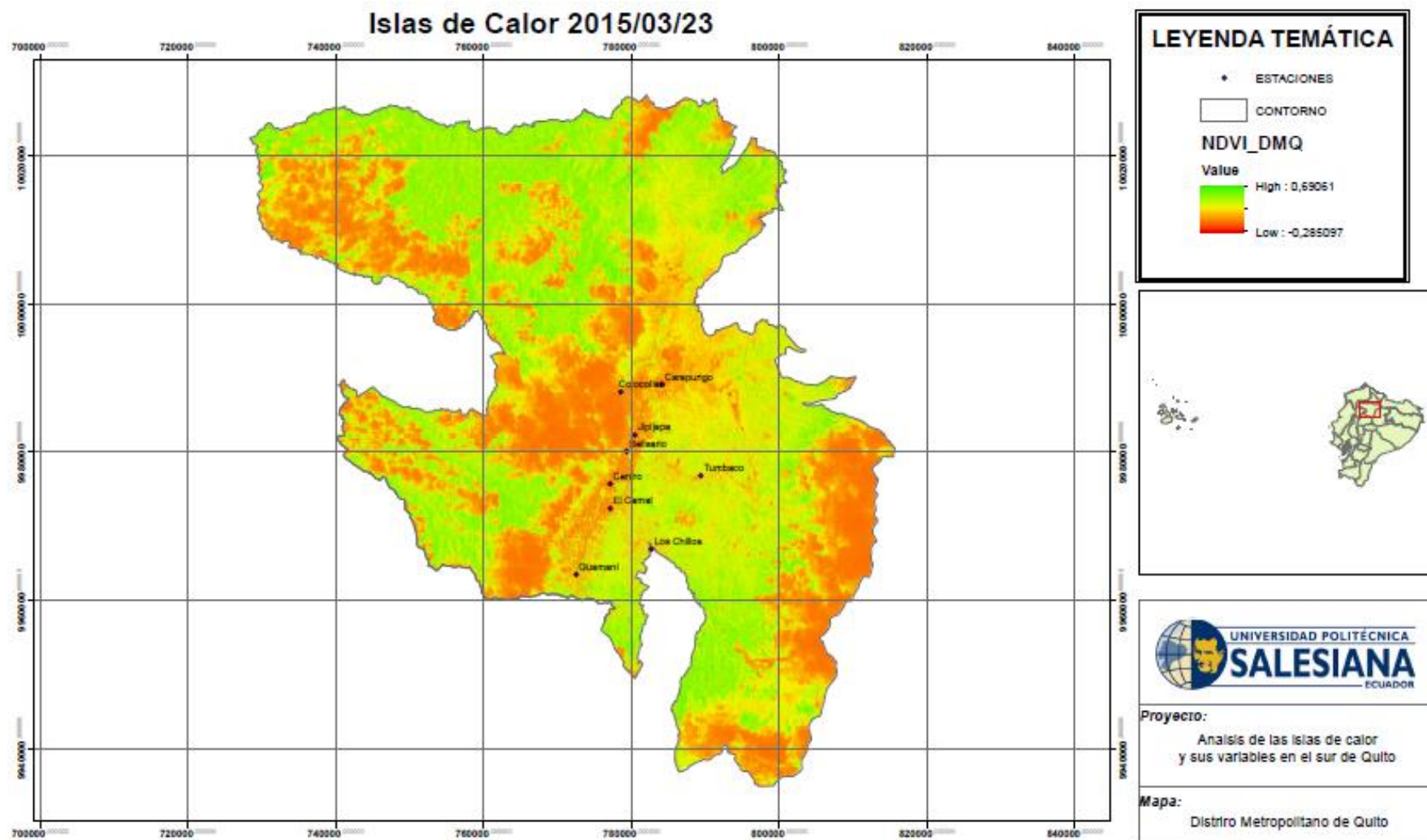




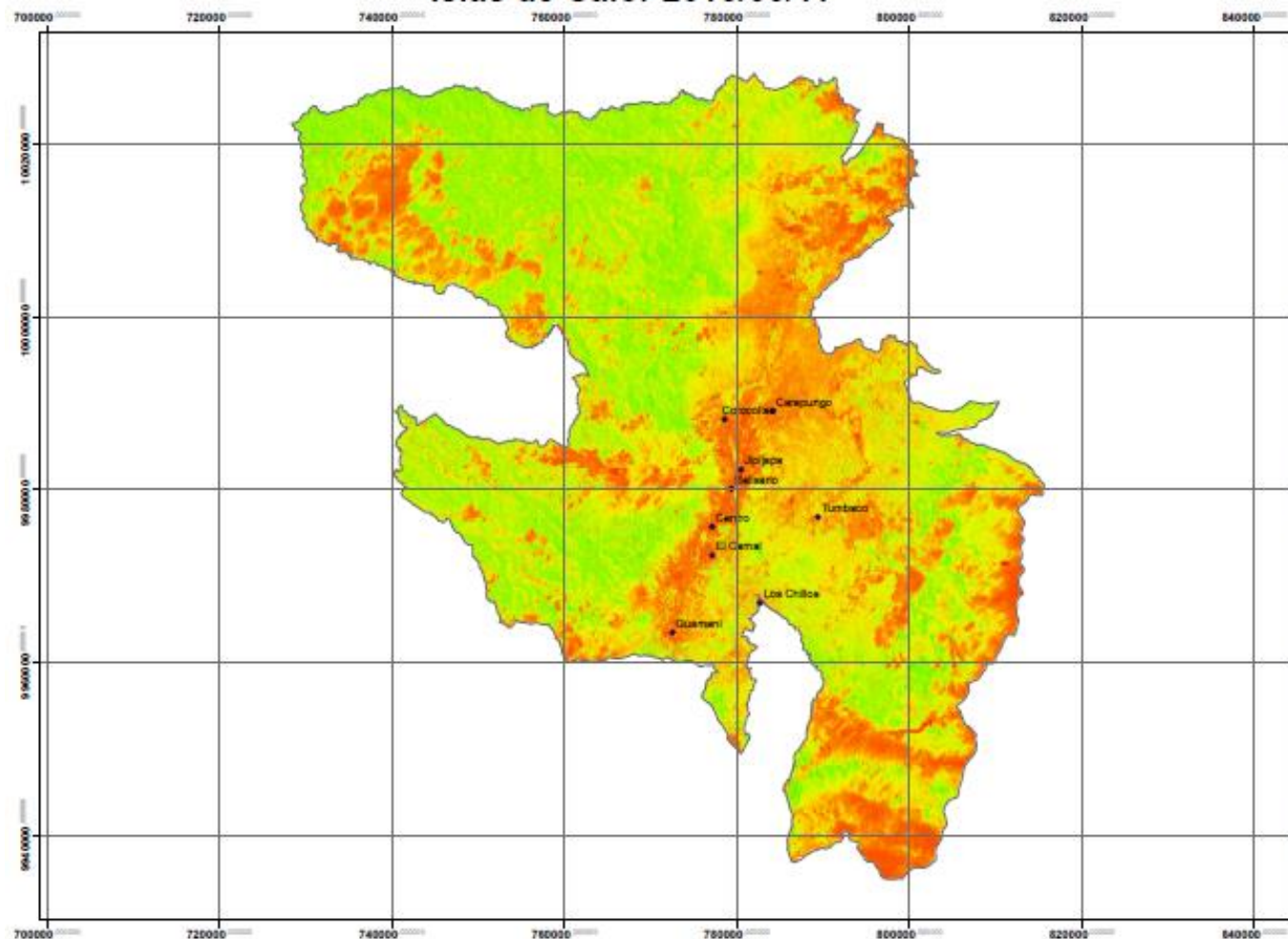








Islas de Calor 2015/06/11



LEYENDA TEMÁTICA

• ESTACIONES

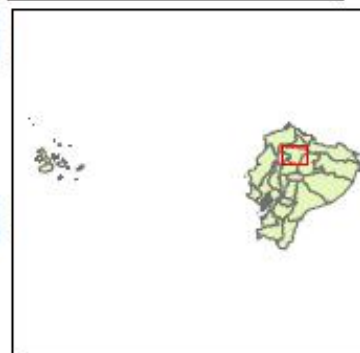
□ CONTORNO

NDVI_DMQ

Value

High : 0,692423

Low : -0,160808

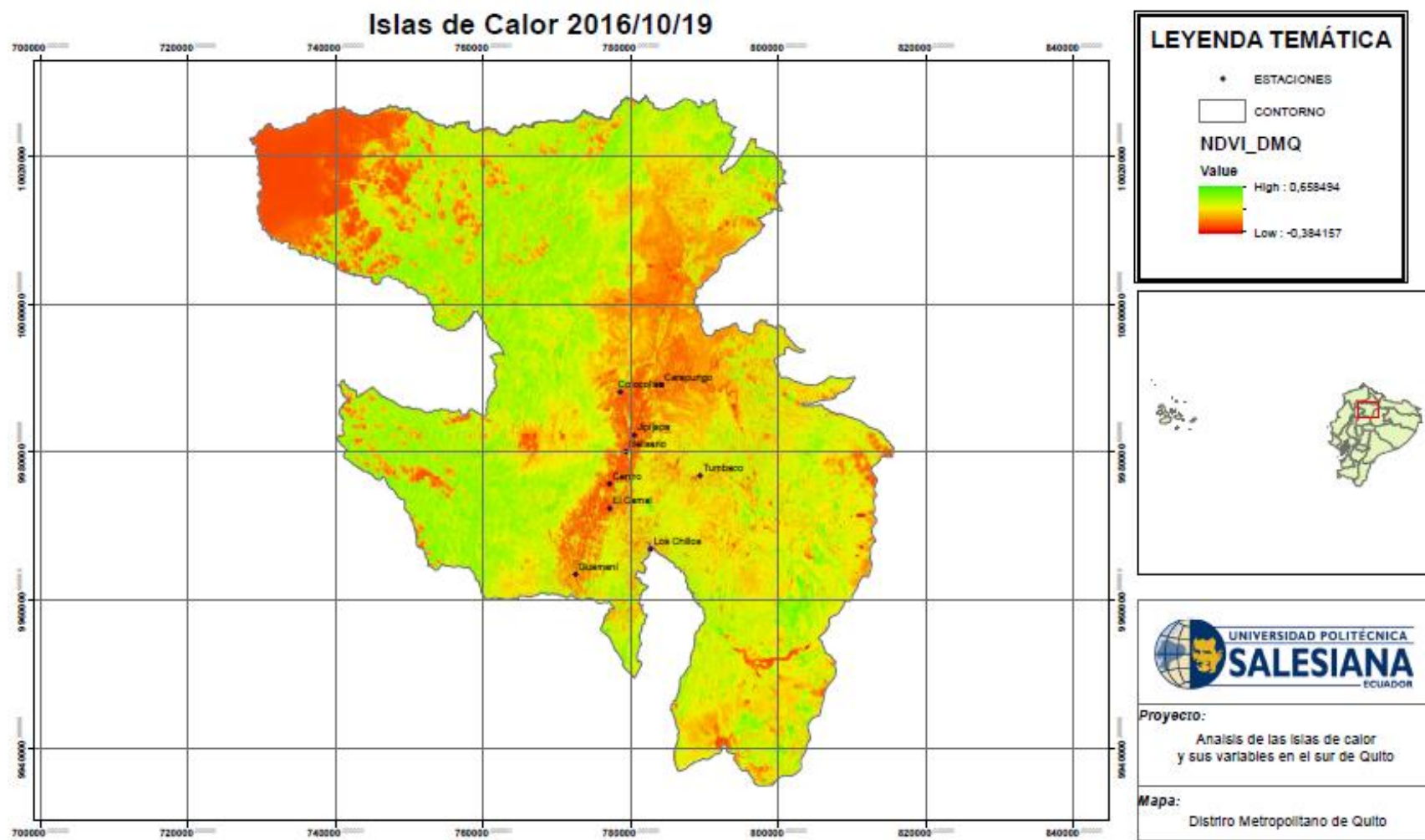


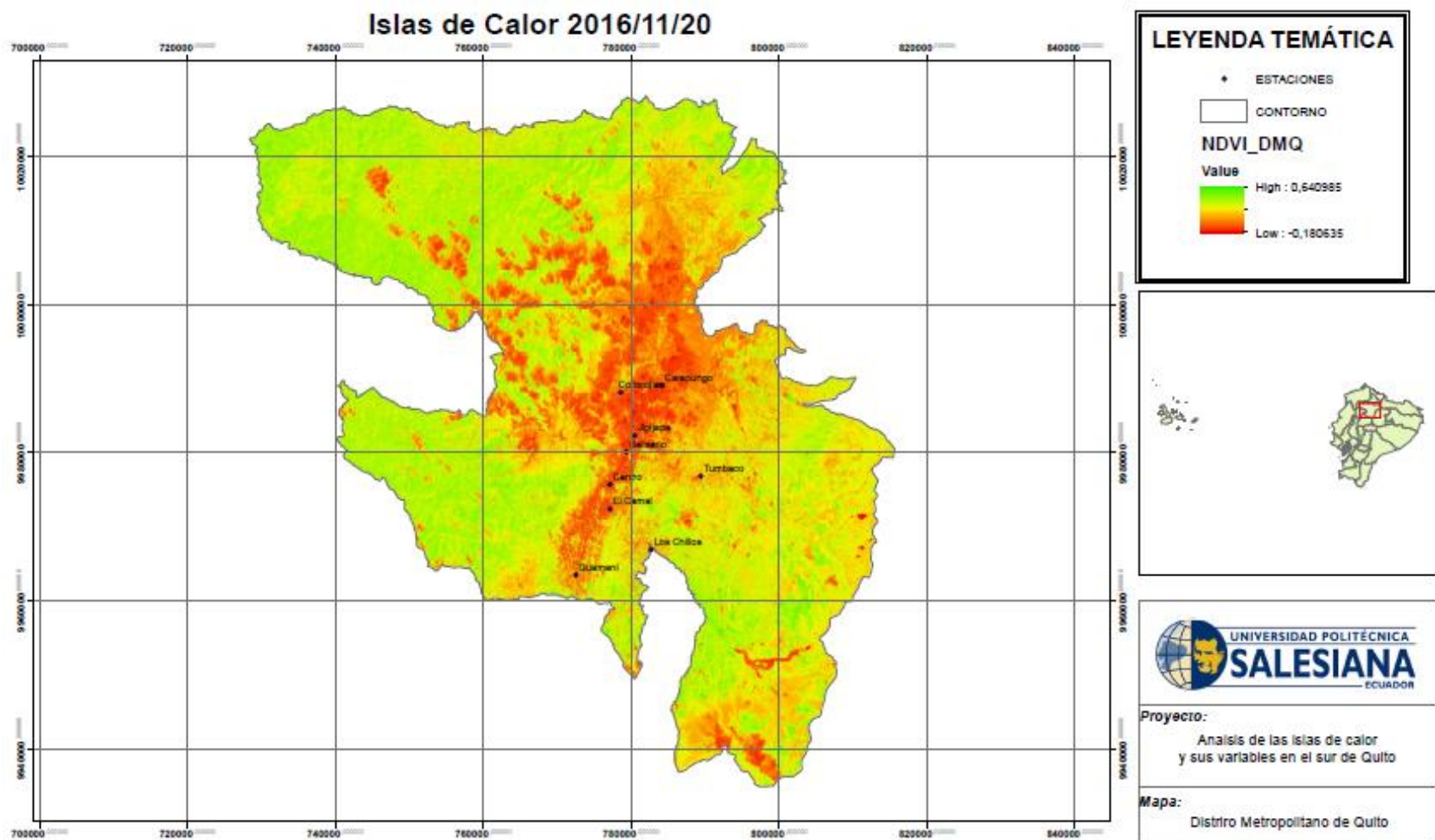
Proyecto:

Análisis de las islas de calor
y sus variables en el sur de Quito

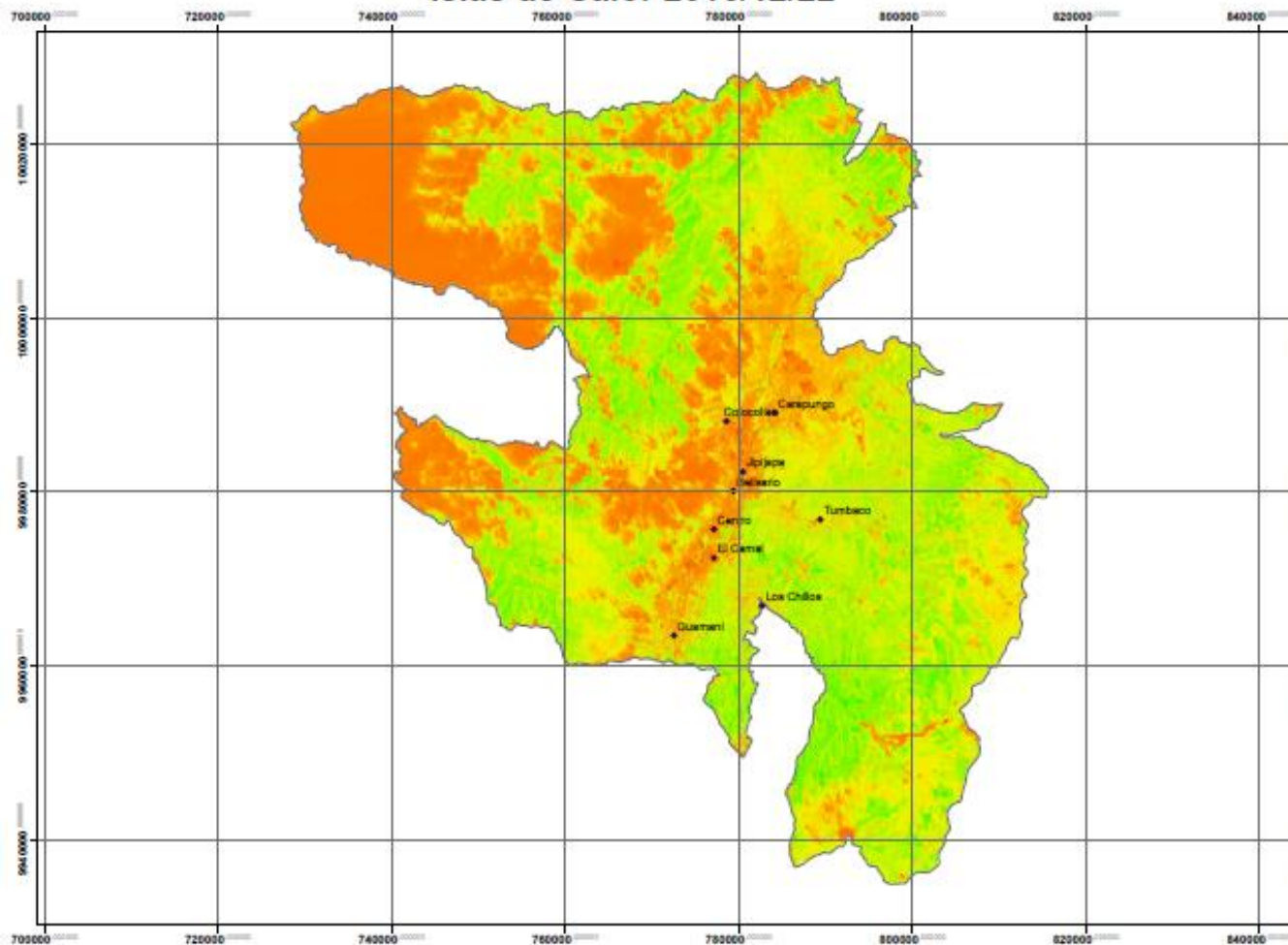
Mapa:

Distrito Metropolitano de Quito





Islas de Calor 2016/12/22



LEYENDA TEMÁTICA

• ESTACIONES

□ CONTORNO

NDVI_DMQ

Value

High : 0,654528

Low : -0,106706

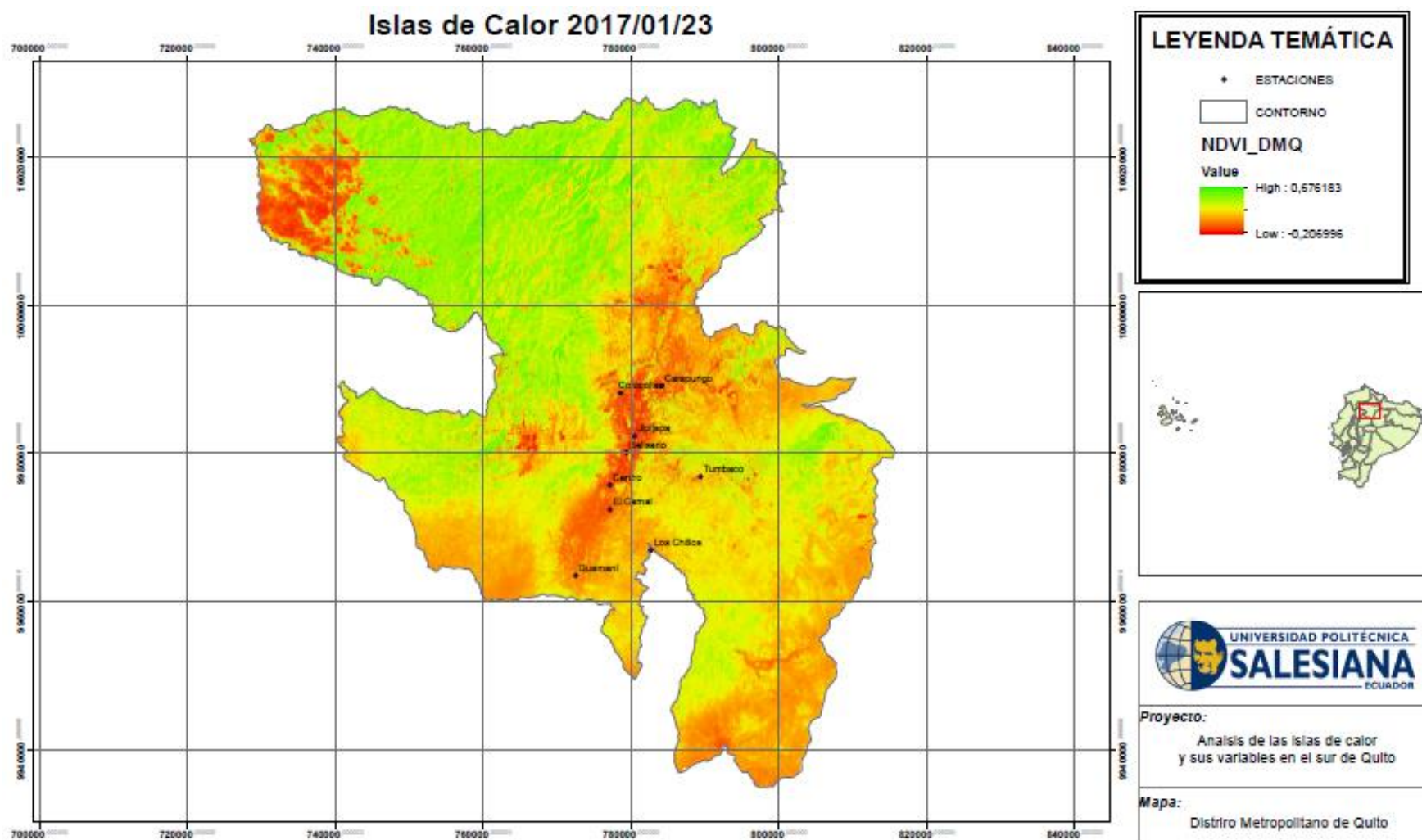


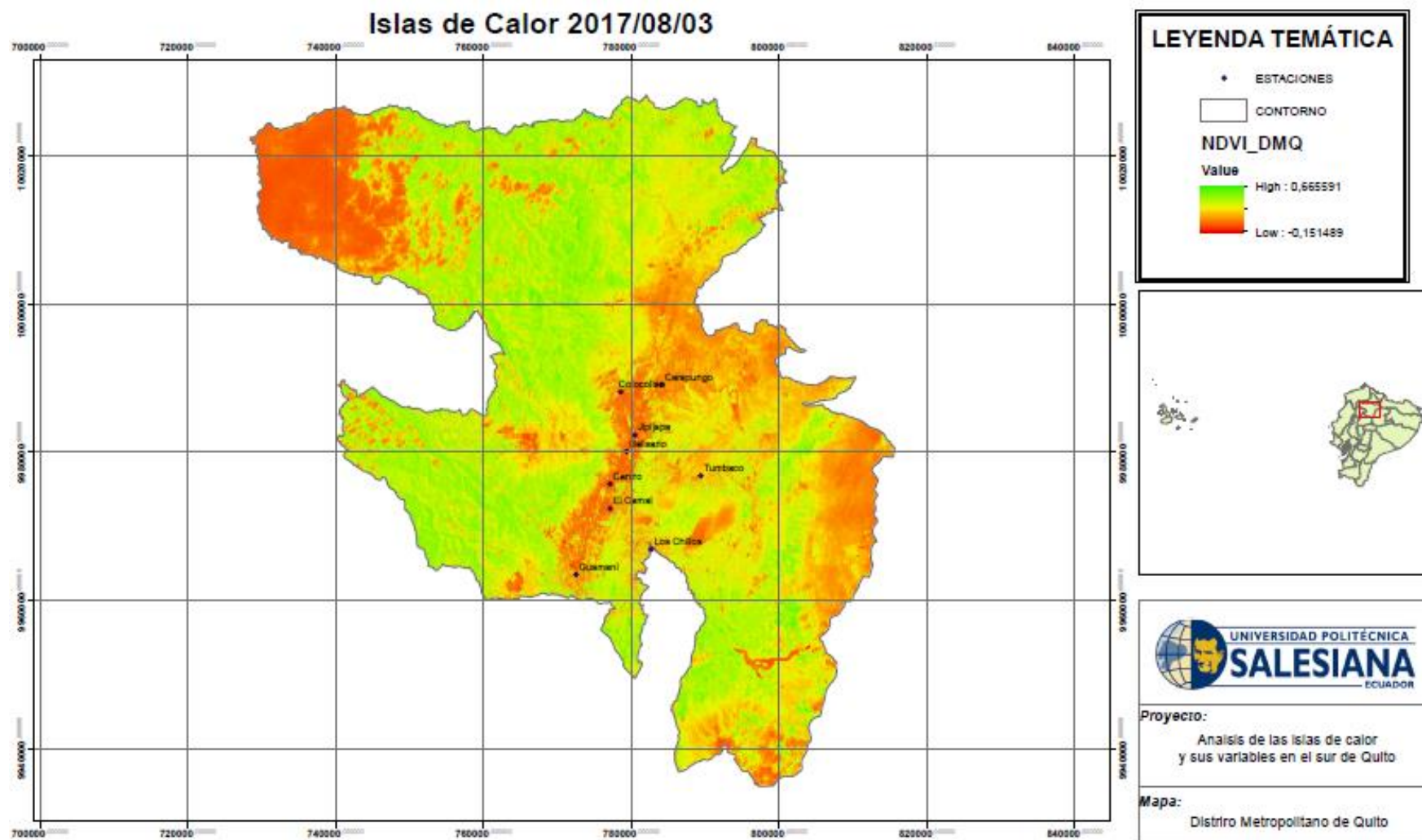
Proyecto:

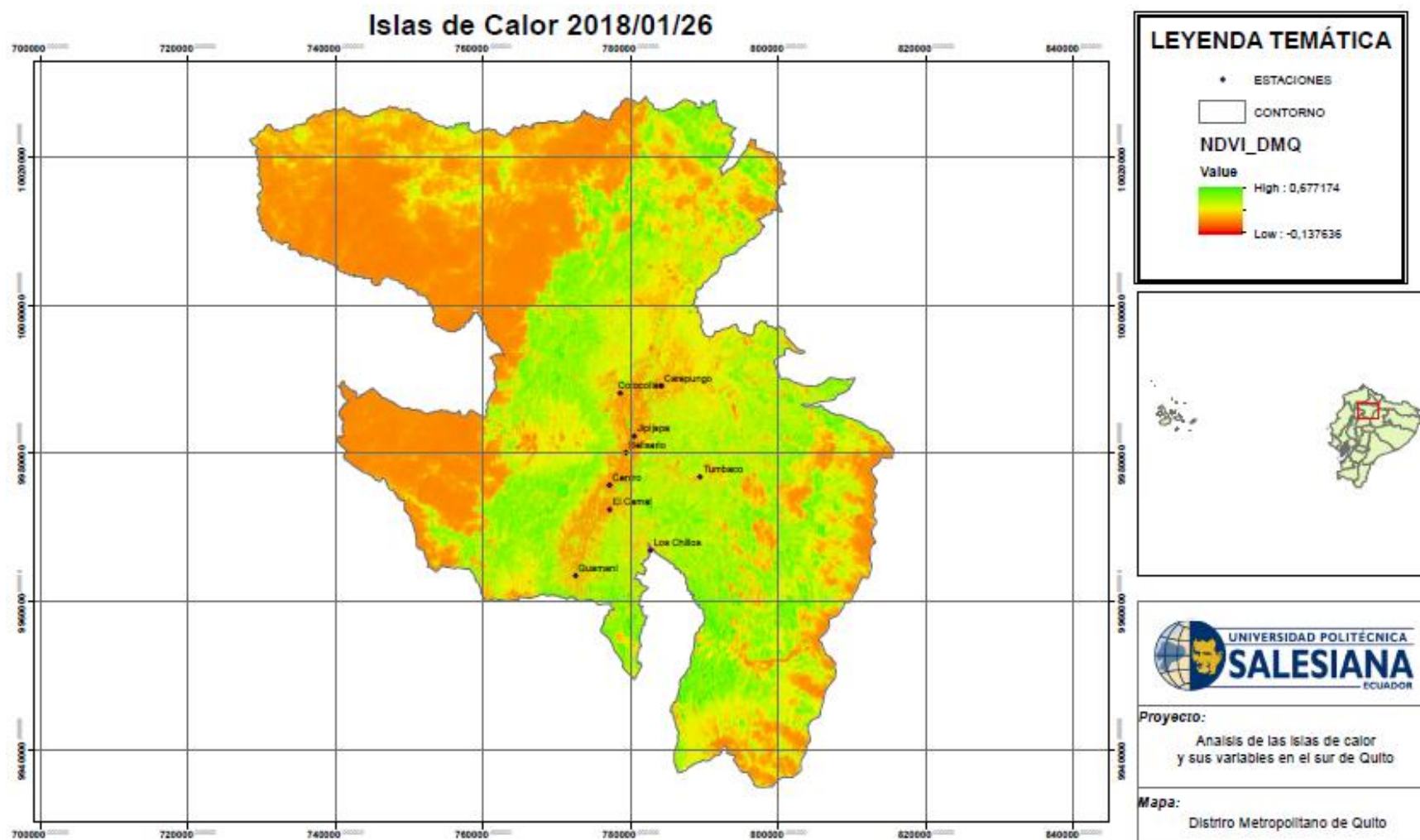
Análisis de las islas de calor
y sus variables en el sur de Quito

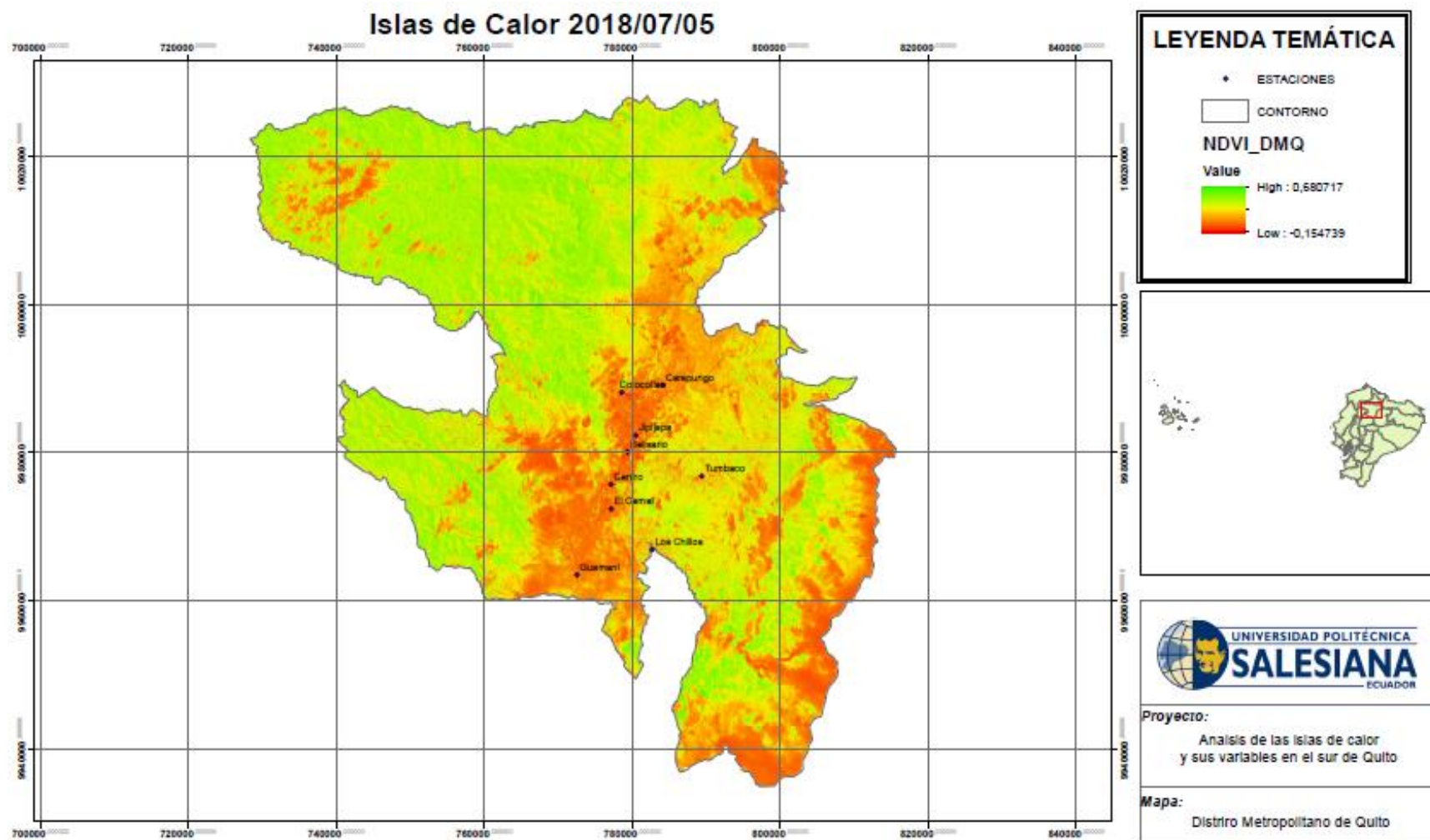
Mapa:

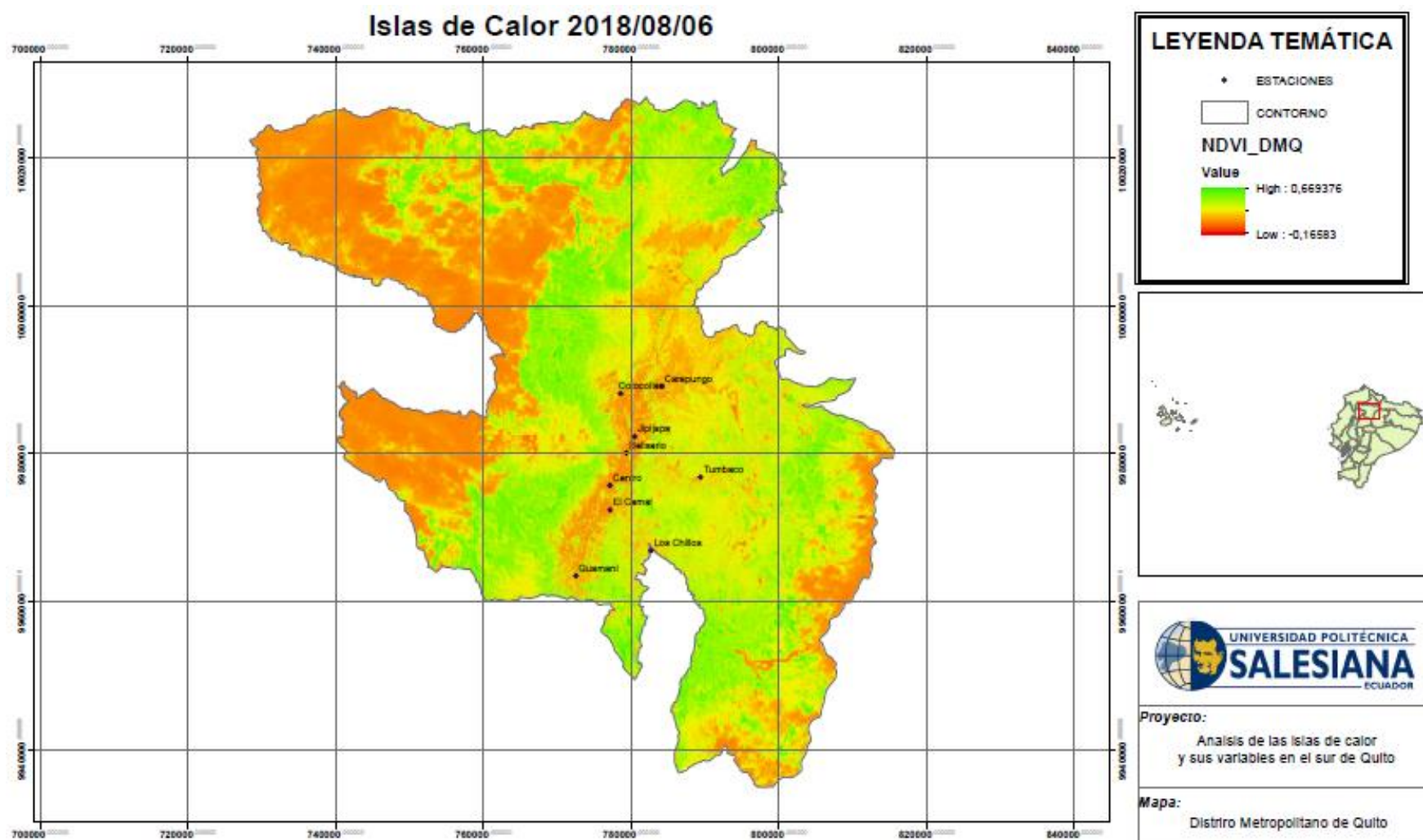
Distrito Metropolitano de Quito

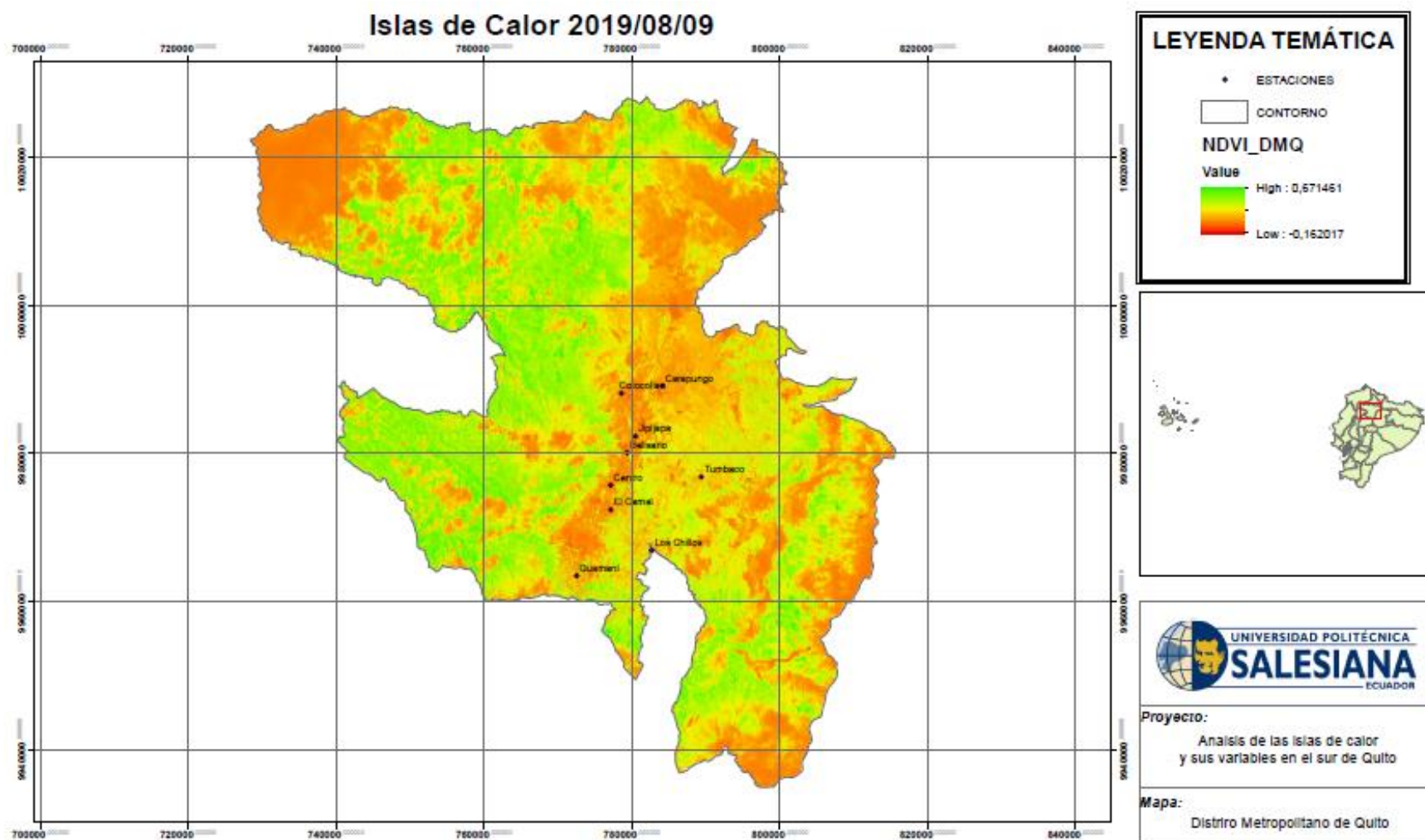




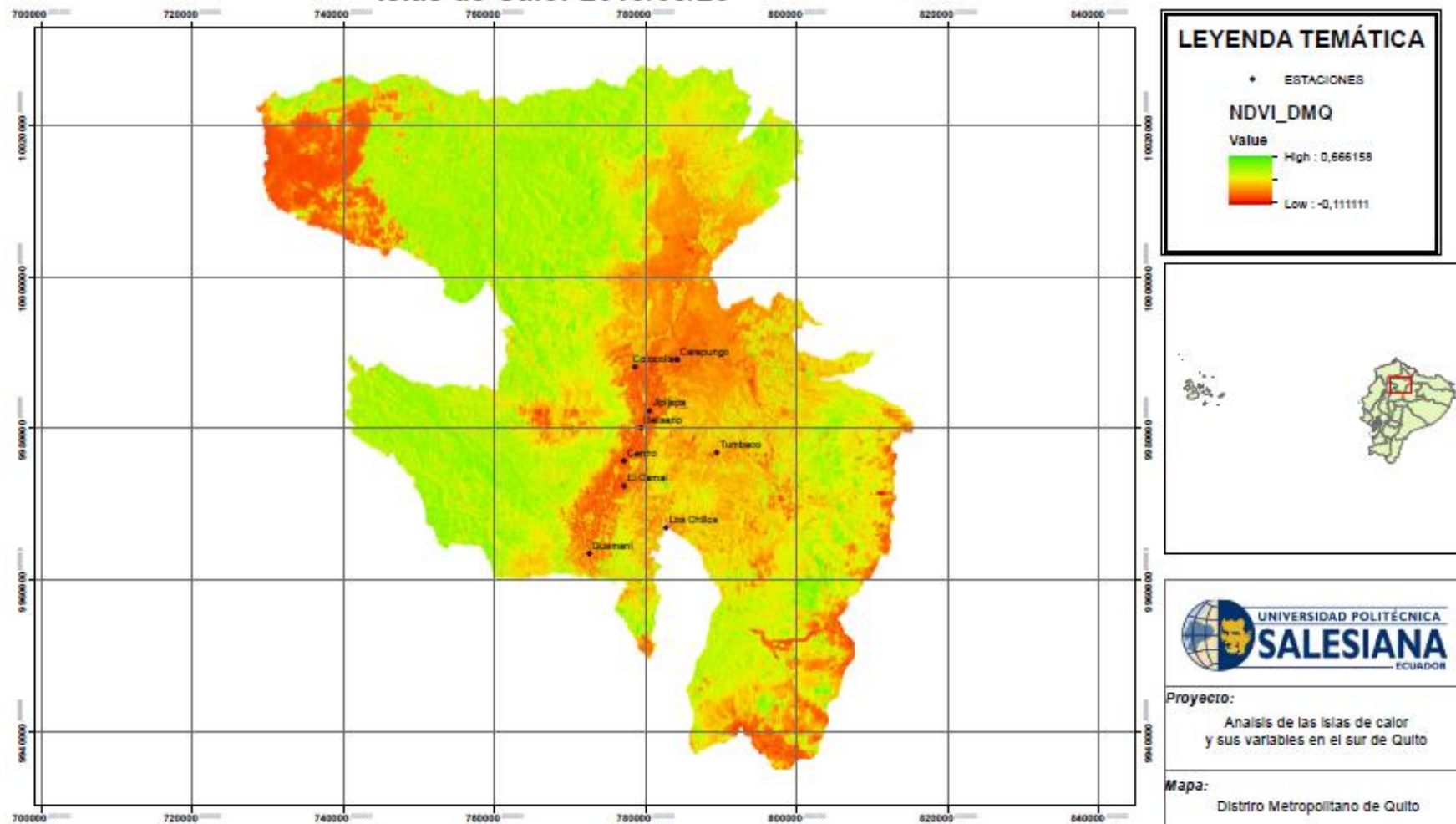


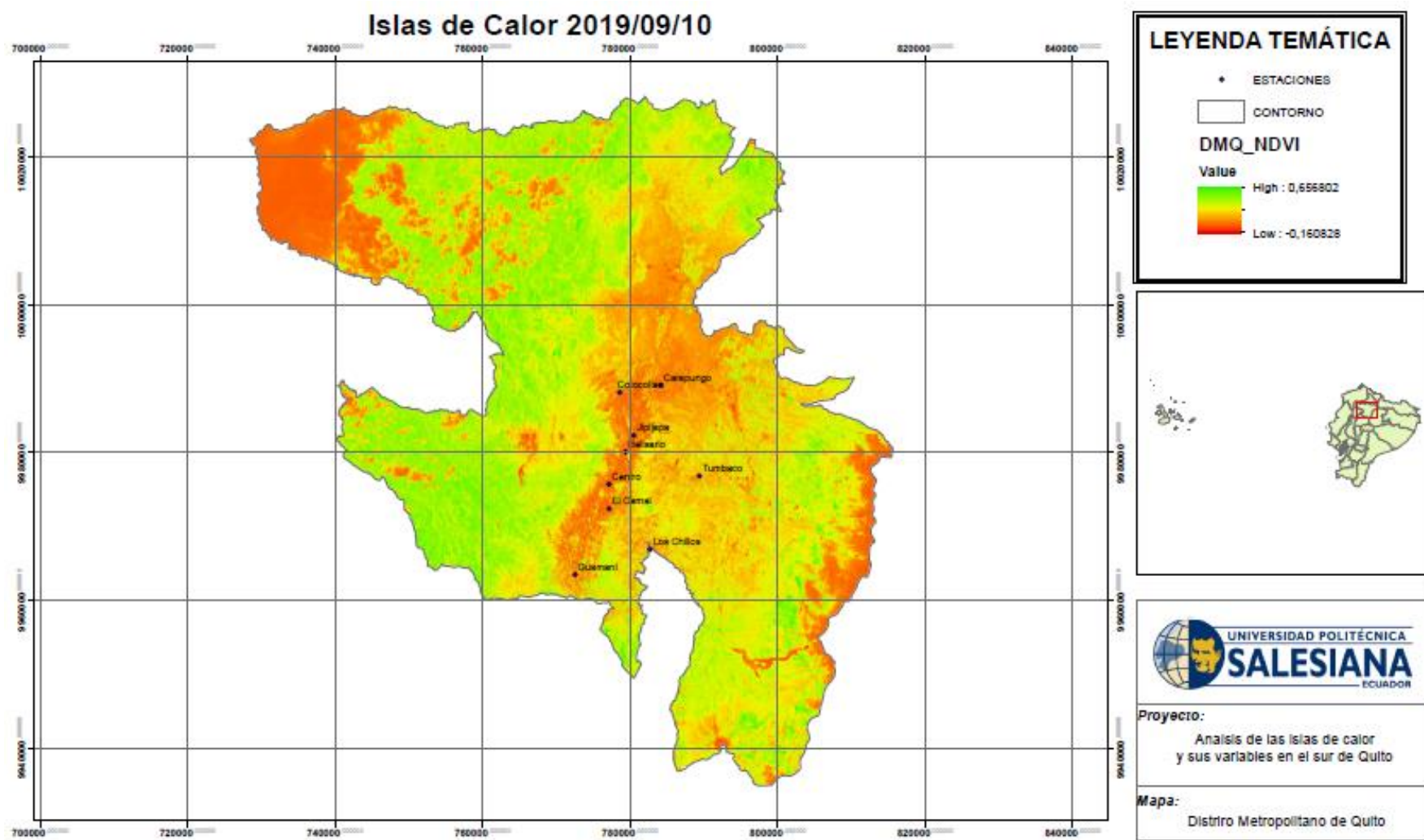






Islas de Calor 2019/08/25





Índice de Diferencia Normalizada de Construcciones

